

УДК 621.01:504.61
ВАК 05.26.02 / 01.02.06
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-2-70-86>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2019

Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства¹

Н. А. Махутов*,

М. М. Гаденин,

О. Н. Юдина,

Институт машиноведения
им. А. А. Благонравова РАН,
101990, РФ, г. Москва, Малый
Харитоньевский пер., д. 4

Аннотация

Показано, что ключевым фактором в решении проблем оценки и управления рисками в социальной, природной и техногенной сферах является использование концепции анализа и мониторинга рисков, основанной на определении базовых параметров текущего и опасного состояния анализируемой социально-природно-техногенной системы. Важность задач обеспечения безопасности и защищенности основных процессов и явлений в такой системе связана с расширением научных возможностей и реальных методов снижения рисков, а также с углубленным анализом спектра опасностей, вызовов, угроз, кризисов, чрезвычайных ситуаций, катастроф с учетом возрастания ущербов от них человеку, обществу, государству, природной среде и инфраструктуре жизнедеятельности. Универсальной количественной мерой вероятностей возникновения и реализации указанных неблагоприятных событий и процессов в сочетании с сопутствующими им ущербами являются риски сложившегося состояния и перспектив развития рассматриваемой системы. Построенные на результатах соответствующего комплексного анализа теория, алгоритмы и программные комплексы для определения, обеспечения и повышения защищенности объектов социальной, природной и техногенной сфер с учетом связанных с ними рисков являются научной базой для обоснования снижения их взаимосвязанных величин до приемлемого уровня. Создание и эксплуатация объектов и инфраструктуры жизнедеятельности человека, общества и государства на основе соблюдения требований к приемлемым уровням рисков и к защите объектов от аварий и катастроф составляют суть перехода на новый уровень государственного стратегического планирования, отвечающего стратегии национальной безопасности России.

Ключевые слова: риск, сферы жизнедеятельности, мониторинг, социально-природно-техногенная система, безопасность, защищенность, опасности, угрозы, чрезвычайные ситуации, разрушения, прочность, ресурс.

Для цитирования: Махутов Н. А., Гаденин М. М., Юдина О. Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства // Проблемы анализа риска. Т. 16. 2019. № 2. С. 70—86 <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-2-70-86>

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-08-00572_a).

The scientific analysis of risks in life-support of a person, a society and the state¹

Nikolay A. Makhutov*,

Mihail M. Gadenin,

Olga N. Yudina,

A. A. Blagonravov Institute for Machine Sciences of the Russian Academy of Sciences, 101990, Russia, Moscow, Maly Haritonyevsky Lane, 4

Annotation

It is showed that the key factor at the solution of problems of an estimation and control of risks for social, natural and technogenic spheres is use of the concept of the analysis and monitoring of the risks, founded on determination of base parameters of a current and probable dangerous state of analyzed socially-natural-technogenic system. Importance of safety maintenance and protectability tasks of basic practices and appearances in such system is interlinked to spreading of scientific possibilities and actual methods of decrease of risks, and also with an in-depth analysis of a spectrum of dangers, defiances, threats, crises, emergency situations, disasters at increment of losses from them to a person, a society, the state, an environment and an ability to live of infrastructure. The universal quantitative measure of probabilities of initiation and implementation of the indicated unfavorable events and processes in a combination to accompanying them losses are risks of the stacked state and prospects of evolution of considered system. Built on results of corresponding comprehensive analysis the theory, algorithms and program complexes for determination, maintenances and raises of protectability of objects in social, natural and technogenic spheres taking into account the bundled to them risks are scientific baseline for a justification of decrease of their interlinked values to acceptable level. Making and service of objects and an infrastructure of ability to live for a person, a society and the state on the basis of a meeting the requirements to acceptable levels of risks and to guard of objects from accidents and disasters present an essence of transition to new level of the state strategic planning certified to the strategy of national safety of Russia.

Keywords: risk, ability to live sphere, monitoring, socially-natural-technogenic system, safety, protectability, dangers, threats, emergency situations, fracture, strength, resource.

For citation: Makhutov Nikolay A., Gadenin Mihail M., Yudina Olga N., The scientific analysis of risks in life-support of a person, a society and the state // Issues of Risk Analysis. Vol. 16. 2019. No.2. P. 70—86, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2019-16-2-70-86>

Содержание

1. Постановка проблем
 2. Приоритеты развития С-П-Т системы
 3. Методы и направления анализа рисков
 4. Определяющие уравнения и их параметры при оценках рисков
- Заключение
Литература

¹ Work is performed with assistance of a grant of the Russian Federal Property Fund (project No. 18-08-00572_a).

1. Постановка проблем

Современный этап анализа состояния и направленного развития сложной социально-природно-техногенной системы (С-П-Т системы) и обеспечения безопасности человека, общества и государства предполагает необходимость научного анализа и использования результатов фундаментальных исследований для обеспечения приемлемых рисков безопасного функционирования этой системы в условиях динамического изменения ее параметров. Основной целью фундаментальных исследований и практических разработок в этом направлении является количественное определение возникающих рисков и их минимизация до приемлемых уровней.

Российское научное общество анализа риска и его Научный совет для достижения этой цели в соответствии со своим Уставом и основными направлениями деятельности решают следующие основные задачи:

- обобщение результатов научных достижений Российской академии наук (ее отделений и институтов) в области исследования фундаментальных закономерностей устойчивого и неустойчивого развития С-П-Т систем;
- разработка прикладных научных основ анализа и управления рисками в социальной, природной и техногенной сферах для обеспечения комплексной безопасности населения, территорий и объектов техносферы с учетом возможности возникновения чрезвычайных ситуаций.

Ключевым фактором в решении данных проблем является использование концепции анализа и мониторинга рисков, основанной на определении базовых параметров текущего и опасного состояния С-П-Т системы и комплексном использовании получаемых при этом научных и практических результатов, которые в конечном счете определяют уровень безопасности и защищенности основных процессов и явлений в анализируемой системе и ее отдельных сферах. Важность решения рассматриваемых задач связана с непрерывным расширением научных возможностей и реальных путей снижения рисков, с одной стороны, а с другой — с углубленным рассмотрением расширяющегося спектра опасностей, вызовов, угроз, кризисов, чрезвычайных ситуаций, катастроф и с увеличением ущерба от них

человеку, обществу, государству, природной среде и инфраструктуре жизнедеятельности. Универсальной количественной мерой вероятностей возникновения и реализации указанных неблагоприятных событий и процессов в сочетании с сопутствующими им ущербами становятся риски сложившегося состояния и перспектив развития С-П-Т системы.

Теория, алгоритмы и программные комплексы расчетно-экспериментального определения, обеспечения и повышения защищенности объектов социальной, природной и техногенной сфер с учетом взаимосвязки связанных с ними рисков будут новой перспективной научной базой для обоснования их снижения до приемлемого уровня. Параметры жизнедеятельности и жизнеобеспечения при возникновении опасностей, кризисов, аварий и катастроф становятся объектом исследований академического характера и осуществления комплекса соответствующих программно-целевых социальных, научно-технологических и экономических мероприятий, направленных на соблюдение требований к приемлемым уровням социальных и экономических рисков и на защиту объектов С-П-Т системы от наиболее тяжелых катастрофических явлений. Они составляют суть перехода на новый уровень государственного стратегического планирования, отвечающего стратегии национальной безопасности и устойчивого развития России в ближайшей (до 2020 г.), среднесрочной (до 2025 г.) и отдаленной (до 2030—2050 гг.) перспективе.

2. Приоритеты развития С-П-Т системы

На фоне глобальных динамических процессов, протекающих в С-П-Т системе, включающей техногенную, природную и социальную сферы жизнедеятельности, стали общепризнанными две основные тенденции развития [1—4]:

- стремление осуществить крупнейшие социальные реформы и инфраструктурные проекты по улучшению качества жизни человека, устойчивому экономическому развитию страны и сохранению окружающей природной среды;
- нарастание угроз и рисков дальнейшему развитию человека, общества и государства и среды обитания.

Указанные тенденции, несомненно, имеют высокую актуальность для развития России в ближайшей (до 2020 г.), среднесрочной (2025 г.) и долгосрочной (2030—2050 гг.) перспективе. В связи с этим актуальными становятся выполняемые в этом направлении фундаментальные и прикладные исследования по проблемам обеспечения безопасности и анализа рисков, связанные с формированием и реализацией основ государственной политики в таких стратегически важных направлениях, как модернизация экономики, приоритеты и приоритетные направления технологического развития, критические и инновационные технологии, национальные и международные инфраструктурные проекты и с их влиянием на окружающую среду [1—5].

В соответствии с основополагающими государственными документами [6—8] базовыми при этом являются две стратегические цели — повышение благосостояния народов России и обеспечение ее национальной безопасности (рис. 1). Эти цели предусматривают принятие необходимых взаимоувязанных решений на всех уровнях государственного управления на основе критериев стратегических рисков.

Научной и материально-технической основой достижения указанных целей являются наука и технологии в области анализа закономерностей развития и управления развитием страны, создания и функционирования объектов и инфраструктуры гражданского и оборонного комплексов страны, входящих

в сложную социально-природно-техногенную систему с обеспечением ее жизнедеятельности (рис. 2).

В этой системе формируются и реализуются комплексы социально-экономических, демографических, научно-технических и экономических рисков ее развития и функционирования. В них входят риски создания новых образцов техники и технологий, риски возникновения аварийных и катастрофических ситуаций, сопровождающихся гибелью людей, разрушением объектов инфраструктуры и поражениями природной среды. Эти системные риски должны вводиться в анализ состояния не только С-П-Т системы и ее элементов, но и в показатели эффективности, модернизации и развития в интересах экономики, технологической независимости, сохранения окружающей среды и обеспечения национальной безопасности человека, общества и государства в целом [1—8].

В качестве основного средства решения поставленных задач выдвигается подготовка и создание научной междисциплинарной, межотраслевой и межведомственной системы мониторинга и оценки состояния С-П-Т системы во времени t и сопутствующих функционированию этой системы стратегических рисков $R_c(t)$. Важность решения такой задачи связана с непрерывным расширением, с одной стороны, возможностей, путей и сценариев развития, а с другой — спектра опасностей, вызовов, угроз, кризисов, чрезвычайных ситуаций

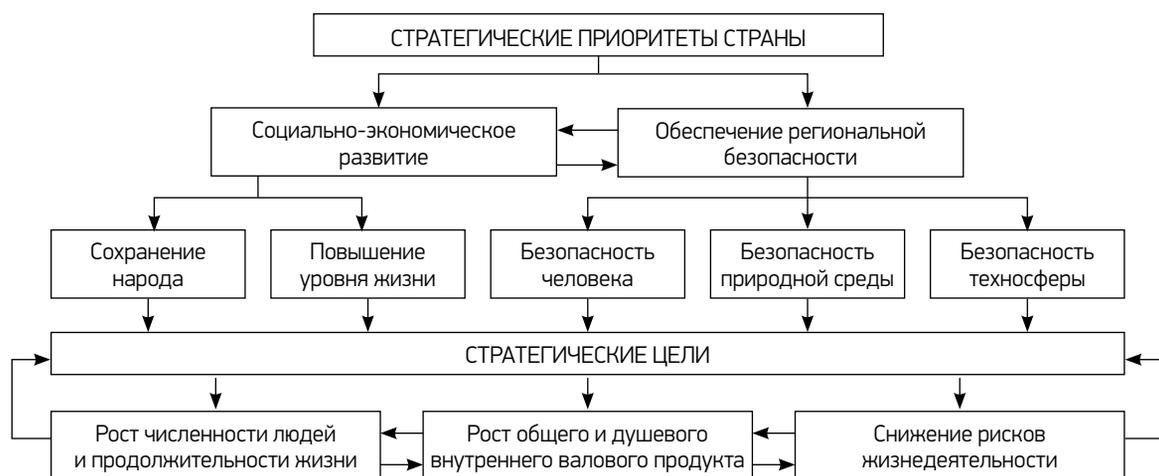


Рис. 1. Национальные приоритеты и стратегические цели развития страны

Figure 1. National priorities and strategic objectives of the country evolution

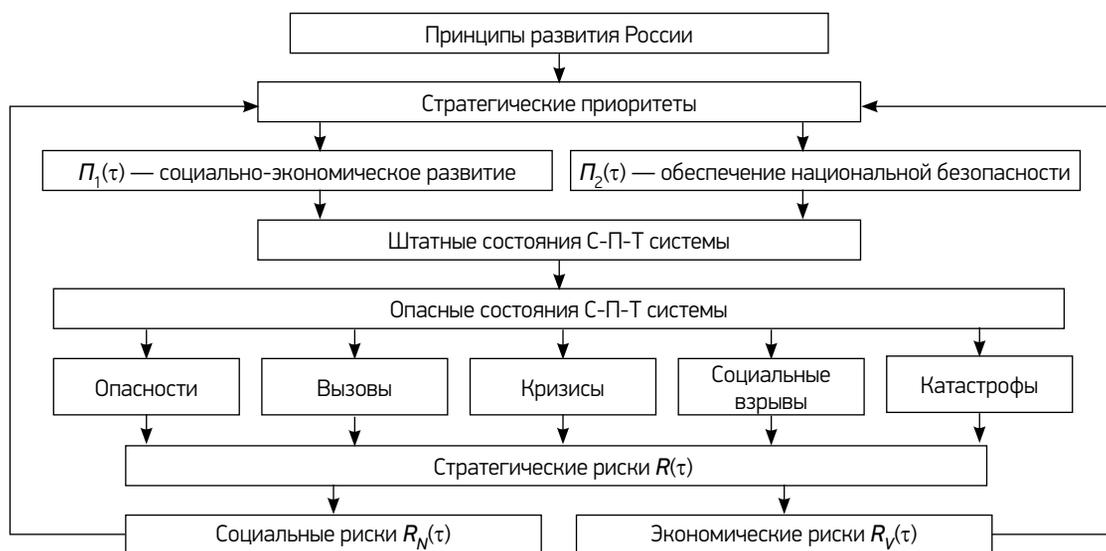


Рис. 2. Структура анализа состояний С-П-Т системы по параметрам рисков

Figure 2. Structure of the states analysis of a socially-natural-technogenic (S-N-T) system by risks parameters

и катастроф с увеличением ущерба от них человеку, обществу, государству и среде жизнедеятельности. Универсальной количественной мерой вероятностей возникновения и реализации указанных неблагоприятных событий и процессов в сочетании с сопутствующими им ущербами становятся риски социально-экономического развития и национальной безопасности. Сложность современной С-П-Т системы, ее сфер и комплексов, многоаспектность и многофакторность их взаимовоздействия делают особенно актуальной разработку комплексных научных методов многопараметрического обеспечения безопасности социальной сферы с учетом опасностей в техносфере и природной среде.

В последнее время характерна тенденция концентрации научно-технических усилий на изучении влияния человеческого фактора на безопасность функционирования потенциально опасных объектов техносферы и природной среды, на повышении уровней научных разработок и практического внедрения на объектах С-П-Т системы автоматических систем комплексной диагностики и мониторинга, на полноте сбора и анализа информации для оперативного контроля текущего состояния объектов, операторов, персонала, населения, среды обитания. Это изучение должно выполняться с целью вы-

работки решений применительно к предаварийным и аварийным ситуациям [1—4, 9—12].

Важнейшим результатом выполненных научных исследований и прикладных разработок [1, 2, 4, 9—12] стало формирование комбинированных методов анализа риска с учетом трендовых и динамических опасных процессов (рис. 3) в условиях эволюционного, реформационного и революционного развития С-П-Т системы. При этом наиболее важным и наиболее сложным оказывается анализ временной динамики опасных процессов и сопутствующих им рисков $R_{\zeta}(t)$ [1, 2, 4].

3. Методы и направления анализа рисков

Современное развитие фундаментальной теории безопасности обосновывает необходимость использования (для целей анализа и обеспечения условий безопасности жизнедеятельности человека, эксплуатации объектов техногенной инфраструктуры и функционирования природной среды) нормируемых параметров рисков, обосновываемых по критериям надежности, ресурса, живучести и безопасности для высокорисковых объектов [1, 4, 9—20]. При этом ключевым фактором в решении данной проблемы является использование концепции расчета,

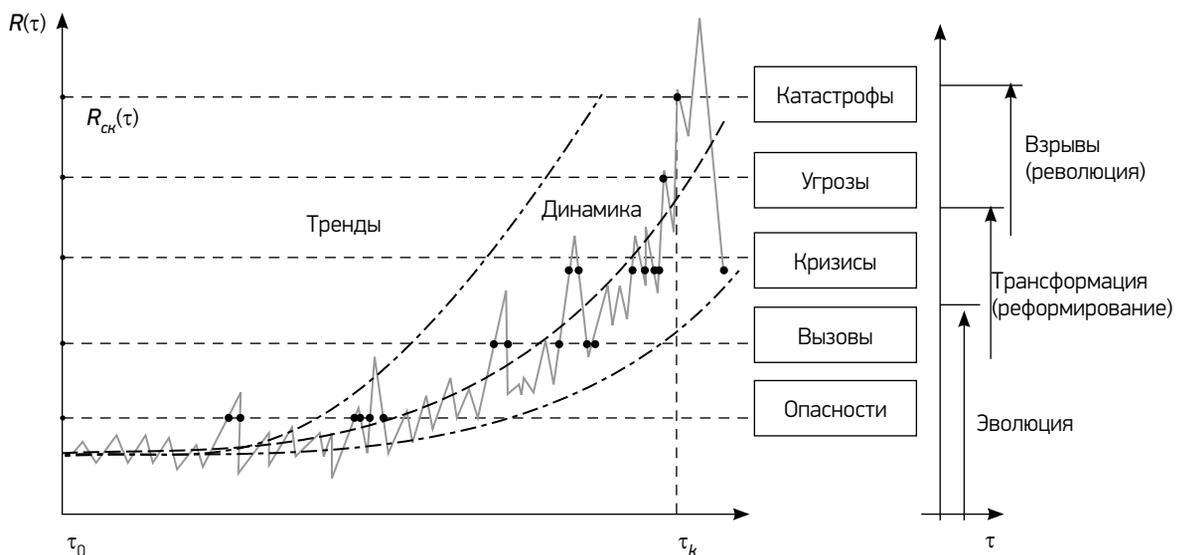


Рис. 3. Динамика рисков с учетом трендовых и динамических опасных процессов

Figure 3. Dynamics of risks with the account a trend and dynamic dangerous processes

анализа, диагностики и мониторинга рисков, основанной на определяющих уравнениях и базовых параметрах рассматриваемых объектов и комплексном рассмотрении и учете получаемых при этом данных.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований по проблемам социально-природно-техногенной безопасности и стратегических рисков являются основой перехода от традиционных методов и систем обеспечения функционирования С-П-Т системы в штатных условиях к методам оценки и управления рисками нештатных и чрезвычайных ситуаций [1, 4, 13, 14, 21]. Одним из важных элементов первоочередного решения комплексной проблемы безопасности и рисков становится взаимоувязанное развитие и использование единой системы диагностики и мониторинга состояния человека, объектов техносферы и природной среды по параметрам формирующихся и реализуемых рисков эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла всех объектов С-П-Т системы с автоматизированным включением комбинированных систем их защиты по мере выхода рисков за пределы приемлемых значений и приближении их к предельным.

В настоящее время в качестве базовых при обеспечении и повышении комплексной безопасности

С-П-Т системы можно назвать три основных направления:

- современная диагностика состояния основных сфер и комплексов системы на всех стадиях жизненного цикла;
- определение рисков возникновения техногенных, природно-техногенных и антропогенных аварий и катастроф;
- мониторинг состояния рисков для их снижения до приемлемого уровня.

С учетом возможности реализации потенциальных опасностей и сложности современных объектов С-П-Т системы и связанных с ними факторов взаимодействия три названные выше направления должны быть отнесены к трем складывающимся в процессе их функционирования стадиям и состояниям:

- штатные состояния объектов и нормальные ситуации;
- опасные состояния объектов, предаварийные и аварийные ситуации;
- предельно опасные катастрофические состояния и катастрофические чрезвычайные ситуации.

Для обеспечения безопасности анализируемых объектов С-П-Т системы следует исходить из того, что степень научной обоснованности правовой, нормативно-технической, проектно-

конструкторской и экспертной документации, методов и аппаратуры для осуществления диагностики и мониторинга, накопленный практический опыт в сфере создания и эксплуатации инфраструктуры жизнеобеспечения характеризуются тремя основными тенденциями по мере перехода от штатных (нормальных) состояний к аварийным и катастрофическим:

- риски возникновения чрезвычайных ситуаций, характеризующие рассматриваемые процессы, экспоненциально нарастают;
- уровень и возможности диагностики состояния и рисков существенно сокращаются при переходе к более сложным объектам С-П-Т системы;
- мониторинг состояний и рисков для случаев тяжелых катастрофических ситуаций остается пока невысоким.

Для всех стадий создания и функционирования потенциально опасных объектов С-П-Т системы (разработка технического задания, проектирование, изготовление и эксплуатация) комплексы диагностирования остаются важнейшим фактором обеспечения безопасности.

При использовании действующих и разработках новых научных методов, расчетов, систем диагностики и мониторинга для объектов социальной, техногенной сфер и окружающей среды применительно к каждому классу возможных аварий и катастроф и к каждому типу аварийных ситуаций должны быть выделены следующие разновидности измеряемых характеристик:

- категории опасных объектов С-П-Т системы и ее сфер;
- характеристики состояния наиболее (критически и стратегически) важных систем и компонентов систем и сфер в штатных и аварийных ситуациях;
- характеристики инициирующих, повреждающих и поражающих факторов при возникновении и развитии опасных, кризисных, аварийных и катастрофических ситуаций;
- характеристики состояний С-П-Т системы в процессе развития опасных ситуаций для разработки и использования систем защиты.

Для решения задач снижения рисков $R(\tau)$ до приемлемых $[R(\tau)]$ и обеспечения безопасности $S(\tau)$ и защищенности $Z_k(\tau)$ объектов С-П-Т системы, а следовательно, и защищенности операторов, персонала,

населения, инфраструктур и окружающей среды важное значение придается рассмотрению фундаментальных закономерностей математики, механики, физики, химии, социологии, биологии катастроф [4]. В их число включаются следующие вопросы:

- предварительный анализ рисков $R(\tau)$ и безопасности $S(\tau)$;
- выбор параметров определения и регулирования прочности $R_\sigma(\tau)$, ресурса $R_{N\tau}(\tau)$, надежности P_{RR} , живучести $L_{ld}(\tau)$, безопасности $S(\tau)$ и рисков $R(\tau)$ для всех стадий жизненного цикла объектов;
- моделирование опасных процессов и объектов анализа;
- выбор основных конструкторско-технологических решений по повышению базовых параметров;
- моделирование рабочих процессов и функционирования сложных технических систем в штатных и аварийных ситуациях с возможными воздействиями на окружающую среду;
- анализ напряженно-деформированных состояний высоконагруженных элементов и конструкций при сложных режимах термомеханического циклического нагружения в штатных и аварийных ситуациях;
- исследование закономерностей деформирования и разрушения в нелинейной постановке для экстремальных условий;
- обоснование запасов прочности, ресурса, риска и безопасности с учетом штатных и нештатных режимов;
- построение систем защиты с заданным уровнем защищенности $Z_k(\tau)$ по критериям рисков.

Алгоритм расчетно-экспериментального определения, обеспечения и повышения защищенности объектов техносферы от аварий и катастроф и их влияния на среду жизнедеятельности показан на рис. 4. Его реализация требует осуществления комплекса программно-целевых мероприятий, рассматриваемых ниже. В тех случаях, когда уровень текущей защищенности $Z_k(\tau)$ оказывается ниже требуемого, проводятся специальные мероприятия по повышению этого уровня. Большое значение при этом приобретает повышение точности расчетов, снижение погрешностей диагностики и мониторинга при определении состояний анализируемых объектов и качества используемых в них конструкторских решений, технологий, материалов.

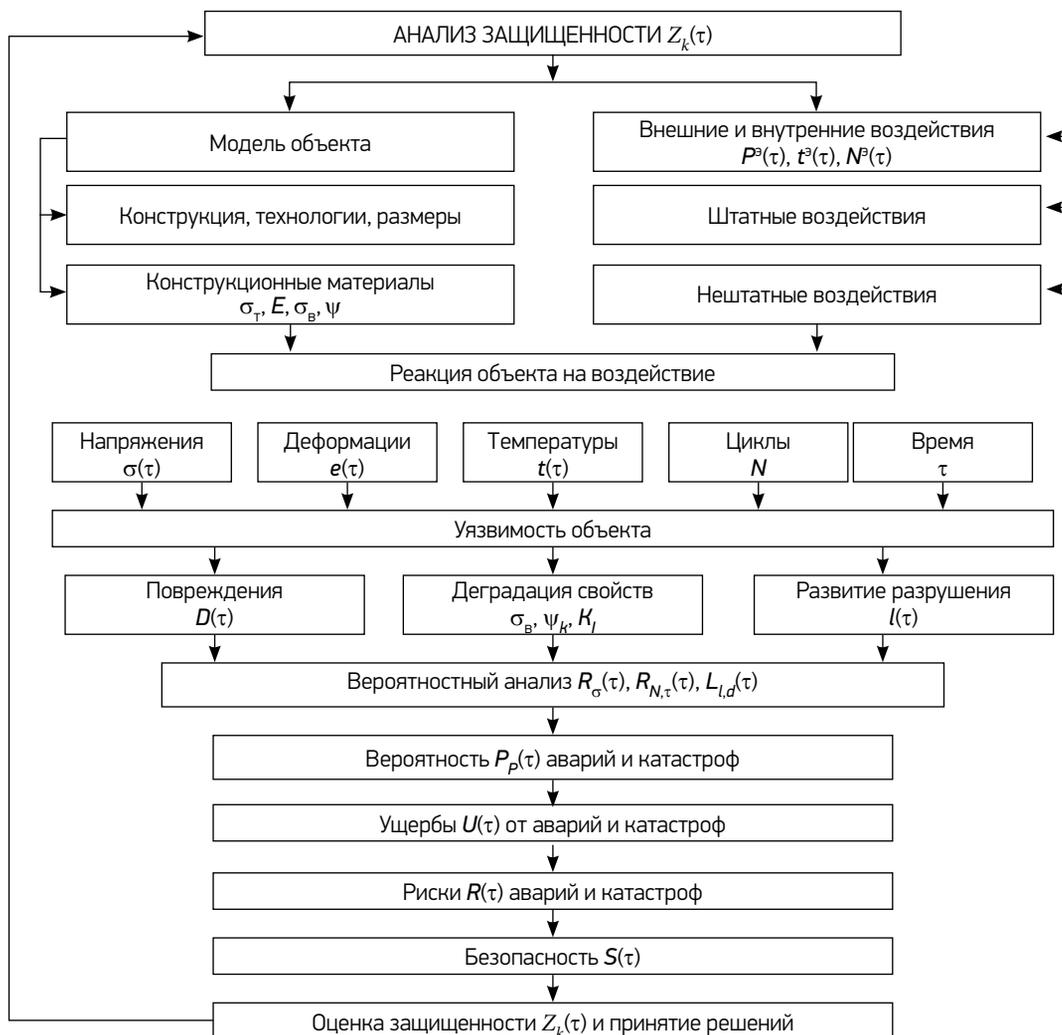


Рис. 4. Алгоритм расчетно-экспериментального определения прочности, ресурса, безопасности и защищенности по критериям рисков

Figure 4. The algorithm of is computational-experimental determination of strength, resource, safety and protectability by risks criteria

Алгоритм определения опасных и безопасных состояний при анализе защищенности $Z_k(\tau)$ объектов С-П-Т системы для стадий проектирования и эксплуатации показан на рис. 5. Этот алгоритм основан на том, что возникновение и развитие аварий и катастроф определяется допустимыми и недопустимыми процессами деформирования и разрушения несущих конструкций, за которыми следуют обрушения, взрывы, выбросы опасных веществ, вызывающих в том числе и негативные последствия для окружающей среды.

Сказанное означает, что фактическая защищенность от аварий и катастроф определяется и оцени-

вается процессами деформирования и разрушения в опасных точках высоконагруженных зон критических элементов объектов техносферы. В определенной степени приведенные на рис. 5 подходы могут быть отнесены к объектам природной и антропогенной среды.

В соответствии с [1, 4, 9—14] при создании единых научных основ анализа и нормирования ресурса, безопасности и защищенности объектов С-П-Т системы должны учитываться степень опасности объектов, типы катастроф и аварийных ситуаций (нормальные условия эксплуатации, отклонения от нормальных

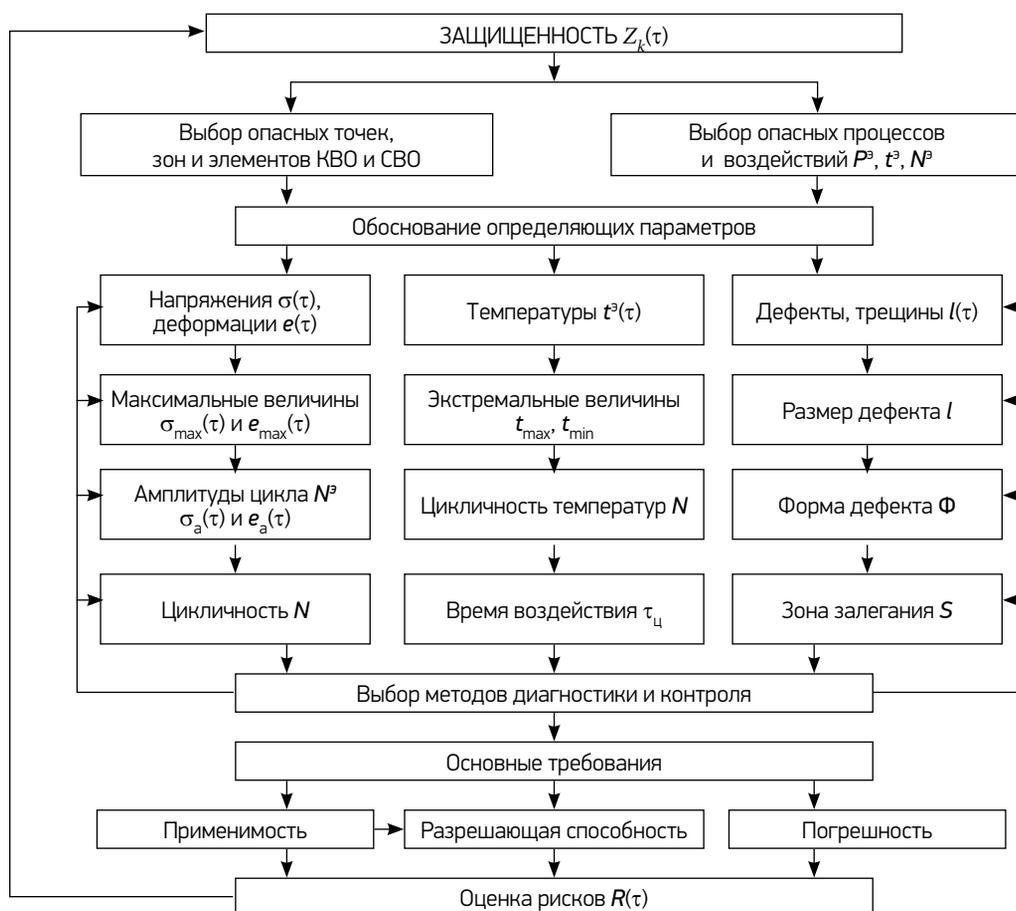


Рис. 5. Алгоритм анализа состояния для обоснования защищенности критически и стратегически важных объектов техносферы

Figure 5. The analysis algorithm of a state for a protectability justification of critically and strategically important objects of a technosphere

условий эксплуатации, проектные аварии, запроектные аварии, гипотетические аварии), спектры иницирующих, повреждающих и поражающих факторов и комплексная система критериев безопасности как самих объектов, так и связанной с ними среды жизнедеятельности С-П-Т системы.

В соответствии с многолетним опытом на стадии проектирования объектов техносферы проводится анализ ресурса и безопасности на основании нормативных и дополнительных уточненных расчетов, и обосновывается исходный ресурс [2, 4, 13–21]. Базовыми данными для такого анализа являются эксплуатационные нагрузки и характеристики эксплуатационного нагружения (температуры, время и числа циклов, частоты), характеристики сопротивления

материалов нагрузкам, включая пределы текучести, прочности, длительной прочности и усталости $R(\sigma_r, \sigma_b, \sigma_{дп}, \sigma_{-1})$, номинальные и локальные деформации ϵ , размеры дефектов l . По результатам расчетных и эксплуатационных исследований обосновываются допустимые нагрузки $[P]$, дефекты $[l]$ и ресурс $[N]$ с заданными запасами n , и составляется заключение о прочности $[R_\sigma(\tau)]$, долговечности $[R_{N\tau}]$, ресурсе $[R_{N\tau}(\tau)]$, живучести $[L_{id}]$, риске $R(\tau)$, безопасности $S(\tau)$ и защищенности $Z_k(\tau)$. При возникновении и развитии аварийных и катастрофических ситуаций дополнительно к расчетам прочности и ресурса должен быть проведен анализ живучести, рисков и безопасности как в отношении самих объектов, так и связанной с ними окружающей среды.

В целом прямое отношение к традиционному и перспективному новому направлению решения проблем защищенности объектов техносферы имеют [1, 4, 9—21] следующие группы подходов:

- с позиций прочности $R_{\sigma}(\tau)$ (в ее многокритериальном выражении «прочность — жесткость — устойчивость»);
- с позиций ресурса $R_{N,\tau}(\tau)$ (во временной τ и поцикловой N постановке);
- с позиций надежности $P_{PR}(\tau)$ (в многофакторном вероятностном представлении характеристик эксплуатационных воздействий $P^3(\tau)$ и прочности $R_{\sigma}(\tau)$);
- с позиций живучести $L_{l,d}(\tau)$ (в рамках линейной и нелинейной механики разрушения);
- с позиций безопасности $S(\tau)$ (с учетом природных, техногенных и антропогенных факторов возникновения аварий и катастроф);
- с позиций рисков $R(\tau)$ (на основе учета вероятностей $P(\tau)$ и ущербов $U(\tau)$ от аварий и катастроф).

Более ориентированными на количественное решение проблемы безопасности $S(\tau)$ критически и стратегически важных объектов, способных создавать тяжелые аварии и катастрофы, являются новые методы и критерии следующих групп: риск $R(\tau)$ в вероятностно-экономической постановке; живучесть $L_{l,d}(\tau)$, определяющая способность и устойчивость функционирования при возникновении повреждений на различных стадиях развития чрезвычайных ситуаций; безопасность $S(\tau)$ с учетом критериев риска $R(\tau)$ и характеристик аварий и катастроф. Вместе с тем объем нормирования и расчета этих характеристик безопасности $S(\tau)$ в реальной инженерной практике даже в последнее время остается чрезвычайно малым — менее 0,1%. И в наибольшей степени это относится к уникальным машинам и конструкциям.

Таким образом, в целом постановка задач и решение проблем защищенности $Z_k(\tau)$ сводится к перспективному изменению направления развития исследований, нормирования и регулирования соответствующих параметров — от основополагающего анализа защищенности $Z_k(\tau)$, безопасности $S(\tau)$ и риска $R(\tau)$ к традиционному определению на их основе надежности $P_{PR}(\tau)$, ресурса $R_{N,\tau}(\tau)$ и прочности $R_{\sigma}(\tau)$.

Для объектов природной среды при оценках рисков могут использоваться практически все перечис-

ленные выше характеристики со своими особенностями протекания процессов повреждения и поражения.

Для антропогенной среды важными оказываются параметры продолжительности жизни в штатных и живучесть в экстремальных условиях.

В настоящее время в нашей стране в соответствии со Стратегией национальной безопасности, федеральным законодательством в области национальной безопасности и стратегического планирования [5—8] формируются (см. рис. 1) новые стратегические основы системы обеспечения безопасности населения, техносферы и окружающей среды, а также защищенности опасных производственных объектов (ОПО) I и II классов опасностей, критически (КВО) и стратегически (СВО) важных для национальной безопасности промышленных объектов в первую очередь от тяжелых катастроф техногенного характера регионального, национального, глобального масштабов с возможными большими социально-экономическими и экологическими последствиями и высокими рисками $R_{и}(\tau)$ и $R_{э}(\tau)$. Постановка таких государственных задач осуществляется на основании федеральных законов, указов Президента, решений Совета Безопасности Российской Федерации и его Научного совета в соответствии с положениями Стратегии национальной безопасности.

К числу определяющих факторов формирования и реализации такой политики, несомненно, можно отнести взаимодействующие факторы техногенных, технологических, военных, экономических и экологических рисков. При этом под риском следует понимать сочетания вероятностей возникновения неблагоприятных процессов и событий в техногенной, природной и социальной среде и сопутствующих им ущербов.

4. Определяющие уравнения и их параметры при оценках рисков

Установление вида зависимости (функционала) рисков $R(\tau)$ от обуславливающих их факторов является фундаментальной задачей науки о безопасности. Введение допустимых уровней риска $[R(\tau)]$ устанавливается через критические (неприемлемые) риски $R_k(\tau)$ и запасы по величинам рисков n_R :

$$[R(\tau)] = \frac{1}{n_R} R_k(\tau). \quad (1)$$

Управление рисками $R(\tau)$ до достижения ими приемлемых значений $[R(\tau)]$ на всех стадиях жизненного цикла анализируемой С-П-Т системы требует разработки и реализации соответствующего комплекса научных, организационных, технических, экономических мероприятий на государственном, региональном, местном и объектовом уровнях. Эти мероприятия требуют определенных затрат $M(\tau)$ с заданным уровнем их эффективности m_M . Эти затраты могут быть выражены через временной функционал:

$$[R(\tau)] = F_M\{m_M, M(\tau)\}. \quad (2)$$

Таким образом, комплексное обеспечение безопасности объектов (ОТР, ОПО, КВО и СВО), окружающей природной среды, человека, общества и государства сводится к одновременному выполнению условий в форме

$$R(\tau) = F_R\{P(\tau), U(\tau)\} \leq [R(\tau)] = \frac{1}{n_R} R_k(\tau) = F_M\{m_M, M(\tau)\} \quad \text{при } \tau \leq [\tau], \quad (3)$$

где $[\tau]$ — допускаемое время функционирования объектов С-П-Т системы при условии $R(\tau) \leq [R(\tau)]$.

Как уже упоминалось, при анализе и мониторинге рисков $R(\tau)$ подлежат рассмотрению три основных сферы, являющихся как источниками, так и жертвами неблагоприятных событий: люди (человеческий фактор — N), объекты техногенной сферы (техногенный фактор — T) и объекты природной среды (природный фактор S). Это означает, что составные элементы риска $R(\tau)$ зависят во времени τ от факторов N, T, S :

$$R(\tau) = F_R\{N(\tau), T(\tau), S(\tau)\}; \quad (4)$$

$$U(\tau) = F_U\{N(\tau), T(\tau), S(\tau)\}; \quad (5)$$

$$P(\tau) = F_P\{N(\tau), T(\tau), S(\tau)\}. \quad (6)$$

Построение современных научно обоснованных методов создания и обеспечения условий безопасного функционирования объектов С-П-Т системы становится возможным только с одновременным учетом не только стратегических приоритетов (см. рис. 1), но и названных выше отдельных техногенных, технологических, экономических и экологических рисков, а также интегральных (суммарных)

рисков. Пренебрежение этими рисками в С-П-Т системе в прошлом в правовой и нормативно-технической документации, в регламентах и нормах не позволяло количественно предсказать, предупредить и минимизировать огромные потери в социальной, экономической, природной и техногенной областях, в том числе потерь человеческих жизней, здоровья людей, деградации объектов природной среды, повреждений и разрушений промышленной инфраструктуры. Алгоритм анализа и регулирования рисков для оценки защищенности приведен на рис. 6.

На основе данных рис. 5 и 6 последовательная реализация алгоритма анализа защищенности позволяет достичь заданных уровней безопасности $S(\tau)$ и защищенности $Z_k(\tau)$ по характеристикам формирующихся $R(\tau)$ и критических $R_k(\tau)$ рисков.

В общем случае для объектов техносферы характерны три сценария (разновидности) развития рисков $R(\tau)$ во времени (рис. 7):

1 — сценарии монотонного возрастания рисков $R(\tau)$ до критических значений R_k ;



Рис. 6. Алгоритм оценки защищенности $Z_k(\tau)$ по критериям рисков $R(\tau)$
 Figure 6. The algorithm of a protectability $Z_k(\tau)$ estimation by risks $R(\tau)$ criteria

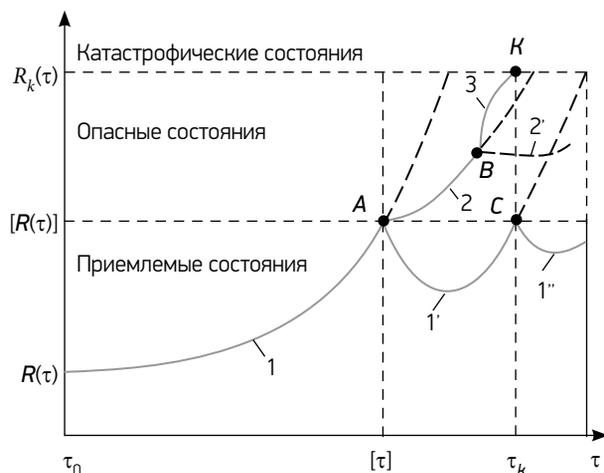


Рис. 7. Типы сценариев развития рисков во времени
 Figure 7. Types of risks evolution scenarios in time

2 — сценарии с обострением, характеризующиеся резкими переходами к катастрофическим явлениям (событиям);

3 — сценарии с бифуркационными переходами и возникновением точек неустойчивости и со сложными траекториями изменения рисков.

Сценарий 1 — относится к большому (основному) числу объектов типа ОТР, сценарий 2 — к сложным

потенциально опасным объектам ОТР и ОПО, сценарий 3 — к наиболее опасным, критически и стратегически важным объектам ОПО, КВО и СВО.

Возникновение неблагоприятных ситуаций (отказов, аварий, катастроф) определяется интегральными рисками $R(\tau)$, представляющими собой сумму рисков $R_i(\tau)$, возникающих в техногенной T , природной S и социальной N сферах. Алгоритм анализа этих рисков приведен на рис. 8.

Для обеспечения безопасности наиболее важными являются две группы рисков:

- индивидуальные риски для жизни и здоровья людей — риски летального или нелетального исхода для $N(\tau)$ при неблагоприятных событиях в С-П-Т системе;
- экономические риски, характеризующиеся через интегральные экономические потери (ущербы) для $N(\tau)$, $T(\tau)$ и $S(\tau)$ при неблагоприятных событиях в С-П-Т системе.

С учетом анализа затронутых выше общих проблем обеспечения безопасности, направлений и перспектив развития различных типов объектов анализируемой системы и ее сфер обеспечение должного уровня их ресурса и безопасности функционирования в целом становится одним из актуальных направлений научно-технологического развития по мере

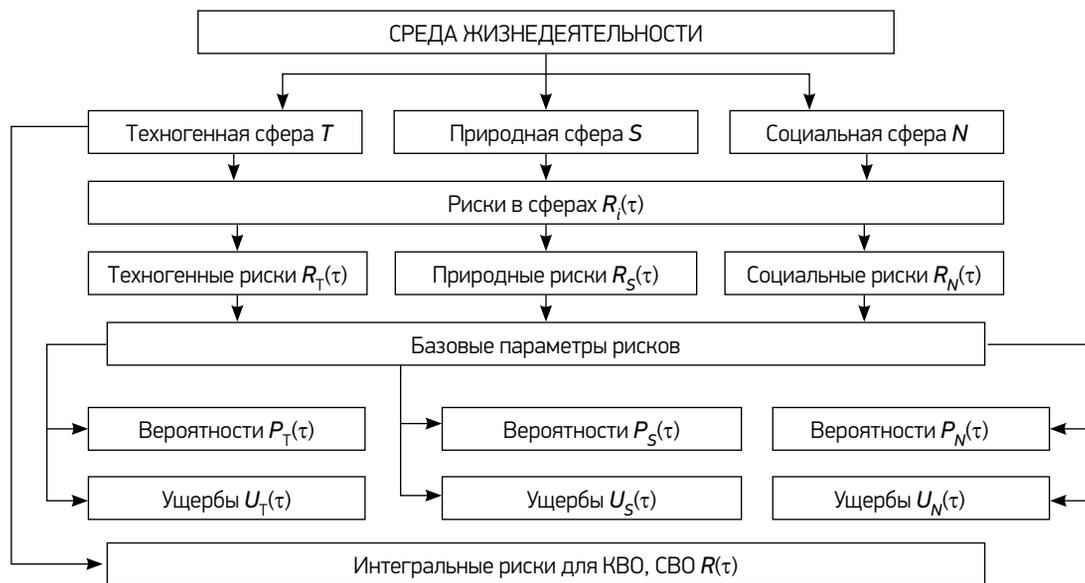


Рис. 8. Алгоритм анализа интегральных рисков для КВО и СВО
 Figure 8. The analysis algorithm of integral risks for the critically (CIO) and strategically (SIO) important objects

роста рабочих параметров и повышения потенциальной опасности составляющих С-П-Т системы. При этом основными задачами дальнейших разработок в этом направлении являются:

- фундаментальные исследования механизмов и сценариев катастроф, лежащих в основе создания критериев и методов решения комплексных проблем ресурса, живучести и безопасности объектов техносферы, природной среды и человека с повышенной потенциальной опасностью возникновения аварийных ситуаций;
- прикладные исследования и разработки инженерных методик, алгоритмов, программ, моделей, стендов, аппаратуры для расчетно-экспериментального обоснования социальных, экономических, конструкторско-технологических и экологических решений при проектировании, создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации действующих

и принципиально новых высокорисковых объектов техносферы с применением комплексных критериев безопасности.

Учитывая существенное различие величин рисков $R(\tau)$, вероятностей $P(\tau)$ и ущербов $U(\tau)$ для различных категорий объектов С-П-Т системы, а также различный уровень прорабатываемости теоретических и прикладных вопросов безопасности, в настоящее время можно ориентироваться на следующую иерархию научных методов анализа рисков (рис. 9): детерминированные методы, статистические методы, вероятностные методы, логико-вероятностные методы, методы нечетных множеств, комбинированные методы и имитационные модели. В целом ряде случаев используются комбинированные методы.

Учитывая сложность структуры, состава и процессов в С-П-Т системе, высокую потенциальную



Рис. 9. Структура исследований и разработок для обеспечения и регулирования безопасности, рисков и защищенности объектов С-П-Т системы

Figure 9. Structure of researches and workings out for maintenance and regulating of safety, risks and protectability of a socially-natural-technogenic (S-N-T) system objects

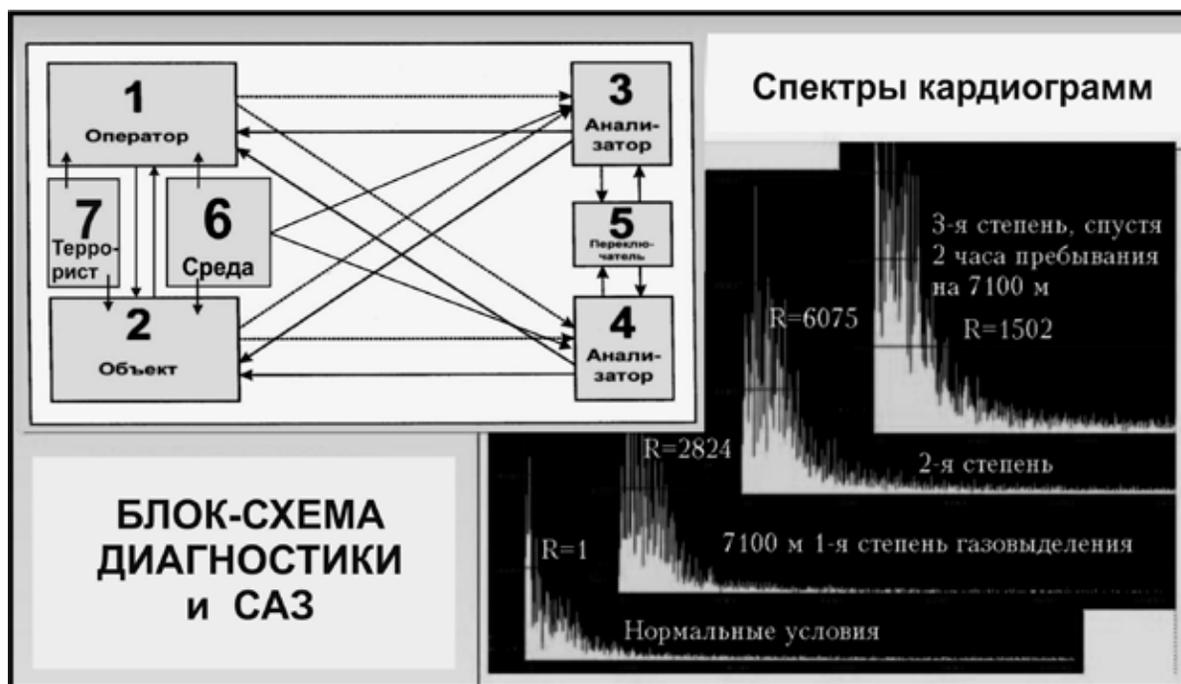


Рис. 10. Структурная схема системы спектральной диагностики и мониторинга человека, объектов техносферы и природной среды

Figure 10. The block schematic diagram of the spectral diagnostics and monitoring system for a person, technosphere objects and an environment

опасность ее сфер и компонентов, а также необходимость развития единой методологии оценки состояний, диагностики и мониторинга входящих в систему человека (операторов, персонала, населения), объектов техносферы и природной среды существенное значение приобретают методы спектральной диагностики в реальном масштабе времени с включением автоматизированных систем защиты от опасных аварийных и катастрофических процессов (рис. 10).

При таком подходе увеличиваются возможности повышения защищенности всей С-П-Т системы в случаях несанкционированных, террористических и военных воздействий, а также гипотетических угроз космического характера.

Заключение

Таким образом, введение в действие стратегии национальной безопасности, федеральных законов о техническом регулировании, промышленной, транспортной, энергетической безопасности и решений о защищенности С-П-Т системы с критиче-

ски и стратегически важными объектами предусматривает повышение роли фундаментальных и прикладных исследований их ресурса, живучести для обеспечения комплексной безопасности с учетом антропогенных, техногенных и природных факторов. Такая трактовка будет получать свое прикладное отражение как в технических регламентах, так и в национальных, отраслевых стандартах и стандартах организаций, в первую очередь для комплекса высокорисковых объектов [1—20].

Из сказанного следует, что разработка алгоритмов анализа и обеспечения защищенности $Z_k(\tau)$ С-П-Т системы (включая человека, общество и государство) является важнейшим направлением комплексных научных исследований в области обеспечения безопасности $S(\tau)$ и анализа рисков $R(\tau)$. Принятие решений об уровне защищенности человека, объектов техносферы и окружающей среды должно осуществляться по критериям приемлемых рисков $[R(\tau)]$. Уровни формирующихся $R(\tau)$ и приемлемых $[R(\tau)]$ рисков, в свою очередь,

определяют достижимый уровень защищенности $Z_k(\tau)$ при строго рассчитываемых и нормируемых необходимых затратах $M(\tau)$. Такой подход, основанный на выражениях (3) — (6), распространяется на обеспечение безопасности и защищенности всего спектра объектов С-П-Т системы (на объектовом, отраслевом, региональном и федеральном уровнях). В его разработке и реализации должны быть скоординированно задействованы ведущие академические институты, отраслевые НИИ и КБ, промышленные предприятия, руководство отраслей, субъектов федерации и государства. При этом резко возрастает роль профессионально высокой и ответственной экспертизы всех проектов и объектов по критериям рисков. Если для массовых объектов можно опираться на саморегулируемые организации, на сложившуюся практику экспертизы и декларирования безопасности, то для критически и стратегически важных объектов социума, техносферы и природной среды обеспечение, регулирование, экспертиза и надзор за безопасностью на основе количественных оценок рисков должны проводиться только на государственном уровне с опорой на современную науку и вовлечение в решение новых проблем всего общества. Это отвечает требованиям рамочной программы ООН по снижению рисков стихийных бедствий на период до 2030 г. [22]. МЧС России, РАН, Российское научное общество анализа риска определены участниками реализации этой программы на национальном уровне.

Создание и эксплуатация объектов и инфраструктуры жизнедеятельности человека, общества и государства 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 [8] и федеральному закону о стратегическом планировании [7].

Общие междисциплинарные и межотраслевые научно-методические основы изложенных традиционных и новых подходов к обеспечению безопасных условий функционирования С-П-Т системы России получили свое отражение в многотомном издании «Безопасность России» [1], разработках РАН, МЧС России, Российского научного общества анализа риска [2—4].

Литература [References]

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной безопасности М.: МГОФ «Знание», 2017. 992 с. [Safety of Russia. Legal, social-economic and scientifically-engineering aspects. Fundamental and application problems of complex safety M.: MGOF “Knowledge”. 2017. 992 p. (Russia).]
2. Российское научное общество анализа риска — 10 лет. Юбилейный сборник статей в 3 т. М.: Деловой экспресс, 2013. [The Russian Scientific Society on Risk Analysis — 10 years. The anniversary collection of articles in 3 volumes. M.: Business express. 2013 (Russia).]
3. Проблемы анализа риска. Научно-практический журнал. М.: Деловой экспресс, 2004—2019. [Issues of Risk Analysis. Scientific and Practical Journal “Business express”. 2004—2019. (Russia).]
4. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука, 2017. 724 с. [Makhutov N.A. Safety and risks: system researches and developments. Novosibirsk: Nauka, 2017. 724 p. (Russia).]
5. Стратегические риски России. Оценка и прогноз / Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. М.: Деловой экспресс, 2005. 385 с. [Strategic risks of Russia. Estimation and forecast / Under a general edition of Yu.L. Vorobyov. M.: Business express, 2005. 385 p. (Russia).]
6. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [The federal law from December, 21st, 1994. No. 68-FZ «About protection of the population and territories against emergency situations of natural and technogenic character (Russia)], http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/
7. Федеральный закон от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (В редакции Федеральных законов от 23.06.2016, № 210-ФЗ; от 03.07.2016, № 277-ФЗ; от 30.10.2017, № 299-ФЗ; от 31.12.2017, № 507-ФЗ). [The federal law from June, 28th, 2014. No. 172-FZ «About strategic planning in the Russian Federation» (Russia)], <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody&nd=102354386>
8. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683. [Strategy of national safety of the Russian Federation. It is approved by the Decree of the Russian President of 31.12.2015, No. 683 (Russia).], <http://www.kremlin.ru/acts/bank/40391>

9. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере и экономике. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с. [Risks in the nature, technosphere and economy M.: Business express, 2004. 352 p. (Russia).]
10. Фалеев М.И., Владимиров В.А., Малышев В.П. и др. Основы стратегического планирования в области гражданской обороны и защиты населения. М.: ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России, 2016. 276 с. [Faleev M.I., Vladimirov V.A., Malyshev V.P. etc. Bases of strategic planning in the field of civil defence and population protection. M.: FKU TsSI GZ Emercom of Russia, 2016. 276 p. (Russia).]
11. Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском. М. — СПб.: ЦЭБ РАН, 1998. 482 с. [Izmalkov V.I., Izmalkov A.V. Technogenic both ecological safety and management of risk. M. — SPb.: TsEB RAS, 1998. 482 p. (Russia).]
12. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005. 271 с. [The atlas of natural and technogenic dangers and risks of emergency situations in the Russian Federation / Under the general edition of S.K. Shoygu. M.: CPI "Design. Information. Cartography", 2005. 271 p. (Russia).]
13. Махутов Н.А. Прочность и безопасность: фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: Наука, 2008. 528 с. [Makhutov N.A. Strength and safety. Fundamental and applied researches Novosibirsk: Science, 2008. 528 p. (Russia).]
14. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности. М.: Издательский дом «Спектр», 2011. 187 с. (Серия «Диагностика безопасности») [Makhutov N.A., Gadenin M.M. Engineering diagnostics of the remaining resource and safety M.: Spektr publishing house, 2011. 187 p. (Safety Diagnostics series) (Russia).]
15. Махутов Н.А., Драгунов Ю.Г., Фролов К.В. и др. Динамика и прочность водо-водяных энергетических реакторов М.: Наука, 2004. 440 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов») [Makhutov N.A., Dragunov Yu.G., Frolov K.V. etc. Dynamics and strength of water-moderated power reactors M.: Science, 2004. 440 p. ("Researches of Tension and Durability of Nuclear Reactors" series) (Russia).]
16. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Проблемы прочности и безопасности водо-водяных энергетических реакторов / Под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина. М.: Наука, 2008. 446 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов») [Makhutov N.A., Frolov K.V., Dragunov Yu.G. etc. Strength and safety problems of water-moderated power reactors / Under the editorship of N.A. Makhutov and M.M. Gadenin. M.: Science, 2008. 446 p. ("Researches of Tension and Durability of Nuclear Reactors" series) (Russia).]
17. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Анализ риска и повышение безопасности водо-водяных энергетических реакторов / Под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина. М.: Наука, 2009. 499 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов») [Makhutov N.A., Frolov K.V., Yu. G. Dragunov, etc. Analysis of risk and safety increase of water-moderated power reactors / Under the editorship of N.A. Makhutov and M.M. Gadenin. M.: Science, 2009. 499 p. ("Researches of Tension and Durability of Nuclear Reactors" series) (Russia).]
18. Махутов Н.А., Рачук В.С., Гаденин М.М. и др. Прочность и ресурс ЖРД. М.: Наука, 2011. 525 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей») [Makhutov N.A., Rachuk V.S., Gadenin M.M. etc. Strength and resource of liquid-fuel rocket engines. M.: Science, 2011. 525 p. ("Researches of Tension and Durability of Rocket Engines" series) (Russia).]
19. Махутов Н.А., Рачук В.С., Гаденин М.М. и др. Напряженно-деформированные состояния ЖРД. М.: Наука, 2013. 646 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей») [Makhutov N.A., Rachuk V.S., Gadenin M.M. etc. Stress-strain states of liquid-fuel rocket engines M.: Science, 2013. 646 p. ("Researches of Tension and Durability of Rocket Engines Series" series) (Russia).]
20. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Москвичев В.В. и др. Локальные критерии прочности, ресурса и живучести авиационных конструкций. Новосибирск: Наука, 2017. 600 с. (Серия «Исследования прочности, ресурса и безопасности летательных аппаратов») [Makhutov N.A., Gadenin M.M., Moskvichev V.V. etc. Local criteria of strength, resource and survivability of aviation structures Novosibirsk: Science, 2017. 600 p. ("Researches of Durability, Resource and Safety of Aircraft" series) (Russia).]
21. 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 [Gadenin M.M. The multiple parameter analysis of safe service conditions and protectability of machines and structures by criteria of strength, resource and survivability // Security concern and emergency situations. 2012. No. 6. P. 22—36. (Russia).]

22. Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015—2030 гг. UNISDR, 2015. 40 с. [Sendai's framework program on decrease of risk disasters for 2015—2030 UNISDR, 2015. 40 p. (Russia).]

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич: член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук

Количество публикаций: 984, из них 89 монографий и 22 учебных издания

Область научных интересов: безопасность, риск, защищенность объектов техносферы; механика разрушения; механика деформируемого твердого тела; механика катастроф

Контактная информация:

Адрес: 101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4

Тел: +7 (495) 930-80-78

E-mail: kei51@mail.ru

Гаденин Михаил Матвеевич: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук

Количество публикаций: 238, из них 59 монографий и 2 учебных издания

Область научных интересов: безопасность, риск, защищенность объектов техносферы; механика разрушения; механика деформируемого твердого тела; механика катастроф

Контактная информация:

Адрес: 101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4

Тел.: +7 (499) 135-55-09

E-mail: safety@imash.ru

Юдина Ольга Николаевна: научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук

Количество публикаций: 24, из них 12 монографий

Область научных интересов: безопасность, риск, защищенность объектов техносферы; механика деформируемого твердого тела

Контактная информация:

Адрес: 101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4

Тел.: +7 (495) 624-25-88

E-mail: icts-olga@rambler.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 22.03.2019

Дата принятия к публикации: 09.04.2019

Дата публикации: 30.04.2019

The author declare no conflict of interest.

Came to edition: 22.03.2019

Date of acceptance to the publication: 09.04.2019

Date of publication: 30.04.2019

ВЕДУЩИЙ РОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ ПО АНАЛИЗУ РИСКОВ



Периодичность: 1 раз в 2 месяца.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА РИСКА

В издании публикуются междисциплинарные научные и прикладные материалы, посвященные анализу рисков различного происхождения и характера: природного, техногенного, экологического, политического, страхового, финансового и др. Журнал внесен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Специалистам-практикам, чья деятельность связана с анализом рисков; специалистам научных организаций; учащимся и преподавателям учебных заведений.

ВНИМАНИЕ, ПОДПИСКА!

ПОДПИСНОЙ КУПОН на 2018 год

Проблемы анализа риска

Индексы: «Роспечать» — 71219, каталог «Пресса России» — 15704.

печатная версия

электронная версия

Количество экземпляров:

Период подписки:

полугодие

год

Вид доставки:

курьером (только по Москве)

почтой (заказным письмом)

Стоимость подписки

печатная версия: 4 500 руб. — за I полугодие; 4 653 руб. — за II полугодие; 9 000 руб. — за год;

электронная версия: 3 600 руб. — за I полугодие; 3 708 руб. — за II полугодие; 7 200 руб. — за год.

Наименование организации

Юридический адрес

Адрес доставки

ИНН/КПП

Телефон (с кодом города)

Факс

ФИО (полностью) сотрудника,
ответственного за подписку

Пожалуйста, заполните все поля подписного купона и пришлите его по факсу (495) 787-52-26.

Также вы можете оформить подписку по телефону: (495) 787-52-26; на сайте: www.dex.ru; по e-mail: journal@dex.ru.

Издательский дом «Деловой экспресс» — многопрофильная издательская компания, работающая на рынке полиграфических услуг с 1993 года.

Что мы делаем

- Создаем корпоративные и ведомственные издания.
- Издаем книги.
- Разрабатываем web-сайты.
- Изготавливаем традиционные бизнес-подарки в необычном исполнении.
- Издаем годовые отчеты и бизнес-полиграфию.
- Придумываем и разрабатываем логотипы и фирменные стили.

«Деловой экспресс» стремится стать лучшим поставщиком полиграфических решений для самых взыскательных клиентов.

Издательский дом

**ДЕЛОВОЙ
ЭКСПРЕСС**

www.dex.ru