

УДК 338.22

ББК 65.050.17

© Махутов Н.А., Абросимов Н.В., Гаденин М.М.

Обеспечение безопасности – приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований

Авторы статьи являются членами созданной при президенте РАН рабочей группы по анализу риска и проблем безопасности.

В статье обосновывается необходимость перехода на новые методологические основы и принципы обеспечения и повышения защищённости сфер жизнедеятельности человека и общества в целом от негативных процессов и явлений, понижающие стратегические риски государства. Рассматриваются вопросы создания новой критериальной базы безопасности, методов, систем парирования угроз и оптимизации рисков.

Жизнедеятельность человека и общества, техносфера, риски, катастрофы, безопасность.



**Николай Андреевич
МАХУТОВ**

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Советник РАН
Kei51@mail.ru



**Николай Васильевич
АБРОСИМОВ**

доктор экономических наук, профессор, эксперт Аппарата Совета Безопасности Администрации Президента Российской Федерации
Abrosimov_nv@gov.ru



**Михаил Матвеевич
ГАДЕНИН**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
safety@imash.ru

Современное развитие фундаментальной теории безопасности обосновывает необходимость изменения действующих традиционных подходов к обеспечению

безопасных условий эксплуатации потенциально опасных объектов техносферы на новые, перспективные. В их основу должны быть положены нормируемые

параметры рисков и безопасности, обосновываемые для технических систем по критериям прочности, ресурса, живучести, надежности и безопасности [1, 2]. При этом ключевым фактором в решении данной проблемы является использование концепции мониторинга рисков [3, 4], основанной на контроле, диагностике и мониторинге базовых параметров эксплуатации рассматриваемых объектов техносферы и комплексном анализе получаемых при этом результатов [2, 5].

Отсюда следует, что разработка и реализация крупномасштабных проектов в области машиностроения, обороны, энергетики, нефтегазохимии, транспорта и других отраслей требует принципиально новых постановок проблемы обеспечения надежности и комплексной безопасности проектируемых и эксплуатируемых машин, конструкций и механизмов с учетом потенциальной опасности объектов инфраструктуры и возможных крупномасштабных ущербов от техногенных аварий. Базовым требованием к таким проектам и объектам становится требование обеспечения их безопасной работы по критериям приемлемых рисков [1, 2, 6].

Результаты фундаментальных и прикладных исследований по проблемам техногенной безопасности и рисков являются основой перехода от традиционных методов и систем обеспечения прочности, ресурса и надежности к методам оценки и управления рисками. Одним из важных элементов решения фундаментальной проблемы безопасности и рисков становится взаимосвязанное развитие и использование комплексной системы диагностики и мониторинга в штатных и аварийных ситуациях, мониторинга формирующихся и реализуемых рисков его эксплуатации на всех стадиях жизненного цикла и обеспече-

ние превентивного парирования возникающих угроз для таких объектов на основе концепции управления рисками по мере выхода текущих эксплуатационных рисков за пределы приемлемых и приближения их к предельным [1–8].

В последние годы XX века и в первом десятилетии XXI века на фоне глобальных динамических процессов, протекающих в социальной, экономической, природной и техногенной сферах жизнедеятельности человека, общества, государства и человечества, становятся общепризнанными две основные тенденции [1, 9]:

- стремление осуществить крупнейшие международные и национальные проекты по улучшению качества жизни и устойчивому сохранению окружающей природной среды;

- нарастание широкого спектра угроз дальнейшему устойчивому развитию человечества и среды его обитания.

Эти тенденции нашли свое отражение в известных решениях ООН, региональных организаций и отдельных государств по проблемам устойчивого развития (Рио-де-Жанейро – 1992 г., Йоганесбург – 2002 г., Кобэ – 2005 г.). Вместе с тем уже в XXI веке человечество столкнулось с глобальными и региональными стихийными бедствиями и природными катастрофами – цунами в Юго-Восточной Азии в 2004 г., землетрясения в Китае в 2008 г. и на Гаити в 2010 г., военные конфликты в Афганистане, Югославии, Ираке, Сирии, национальный и международный терроризм, начавшийся в 2008 г. мировой экономической кризис. Все они указывают на то, что предлагаемые стратегии прогнозирования и управления дальнейшим развитием без прямого количественного учета всё возрастающих угроз могут оказаться недостаточными, неэффективными и небезопасными [10].

В этой связи особую актуальность приобретают фундаментальные и прикладные исследования на национальном и международном уровнях по проблемам обеспечения безопасности на основе анализа рисков, направленные на формирование и реализацию основ государственной политики в таких стратегически важных областях, как модернизация экономики, приоритеты и приоритетные направления технологического развития, критические и инновационные технологии, национальные и межгосударственные проекты [2]. Материально-технической основой приложения результатов таких исследований являются объекты и инфраструктура гражданского и оборонного комплексов, входящие в сложную социально-природно-техногенную систему жизнеобеспечения. В этой системе формируются и реализуются технологические и техногенные риски ее развития и функционирования, риски возникновения аварийных и катастрофических ситуаций, сопровождающихся гибелью людей, разрушением объектов и поражениями природной среды.

Во второй половине XX века произошли крупнейшие катастрофы [1, 11, 12] в Индии (Бхопале), США (на атомной подводной лодке «Трешер», на космических кораблях «Колумбия», «Челленджер», на атомной электростанции ТМА), в СССР и России (на атомной электростанции ЧАЭС, на атомной лодке «Комсомолец», на ракетных системах «Союз» и Н1, на железных дорогах под Уфой, в Арзамасе и Свердловске, на Саяно-Шушенской ГЭС), а также в Японии, Норвегии, Канаде, Эстонии (на атомной электростанции, морских платформах, крупнейших танкерах и паромех; *рис. 1*).

Названные выше катастрофы уносили сотни и десятки тысяч человеческих жизней и создавали увечья и потерю здоровья

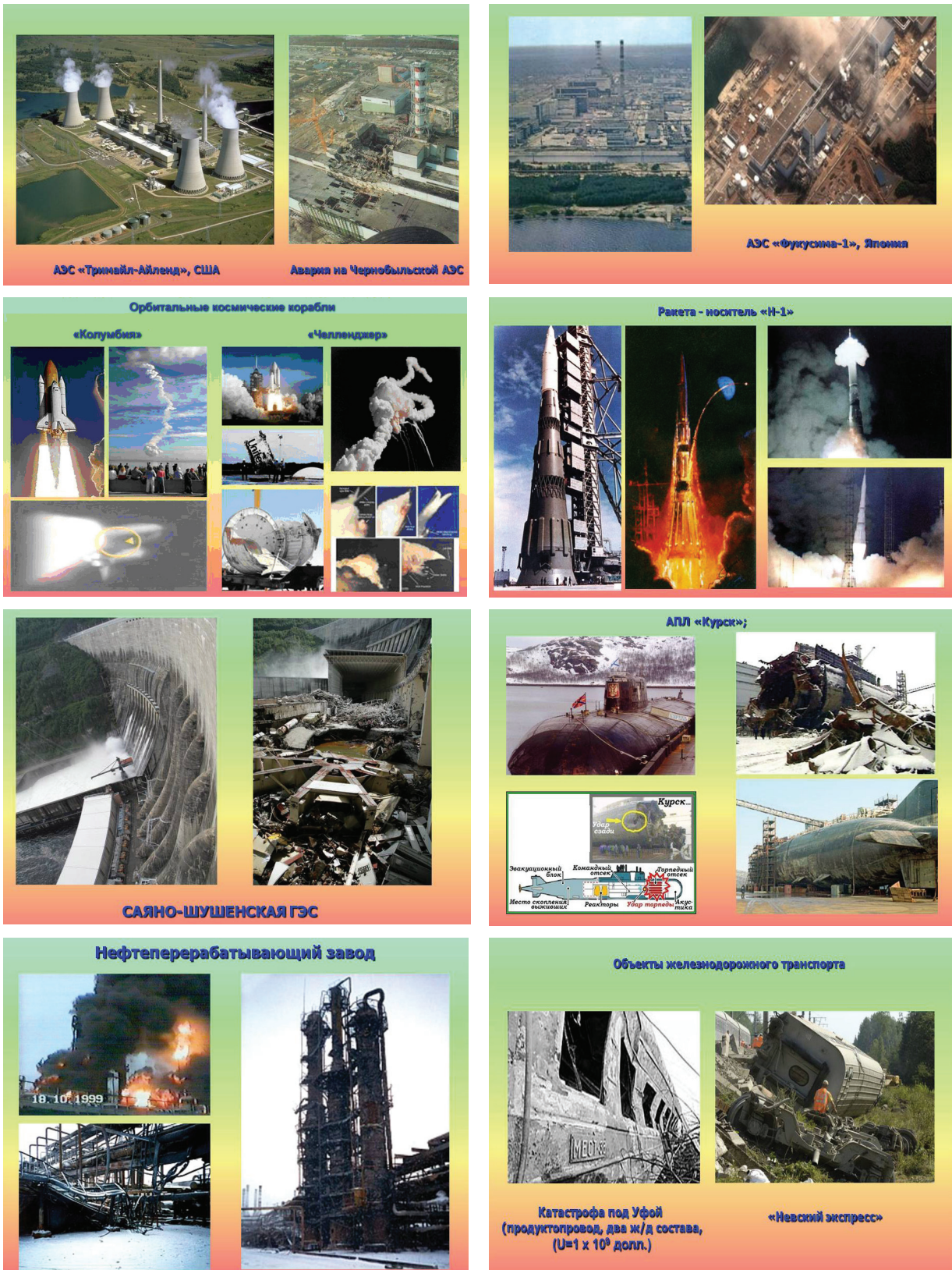
для десятков и сотен тысяч человек, загрязняли огромные территории регионов, государств и континентов [1, 9, 11]. В это же время имели место и крупномасштабные природные катастрофы – землетрясения (в Армении, Ираке, Японии, Центральной Америке), наводнения (в Индии, Китае, США, в ряде европейских стран), штормы, цунами [1, 12]. Ущерб от них были связаны с многочисленными потерями человеческих жизней, разрушением инфраструктур и окружающей природной среды.

Эти примеры говорят не только о том, что тяжелые аварии и катастрофы становятся постоянно действующим фактором современной цивилизации, но и о том, что, к сожалению, угрозы их возникновения нарастают быстрее, чем способность ученых, специалистов и государственных структур прогнозировать, предупреждать и предотвращать техногенные катастрофы и стихийные бедствия.

Основополагающими документами для России, определяющими основные цели рассматриваемых фундаментальных исследований и разработок в области обеспечения безопасности, являются Стратегия национальной безопасности Российской Федерации [13] и Основы стратегического планирования в Российской Федерации [14], подготовленные Советом Безопасности Российской Федерации и утвержденные Президентом Российской Федерации в 2009 году.

Обеспечение условий безопасной эксплуатации объектов техносферы неразрывно сопряжено с анализом условий и рисков возникновения потенциальных вызовов, опасностей, угроз и их поэтапной реализации [1–9]. Под рисками R в теории безопасности понимаются такие сочетания вероятностей P возникновения неблагоприятных событий (опасных и кризисных явлений, катастрофических, аварийных и

Рисунок 1. Примеры тяжелых катастроф на объектах техносферы



чрезвычайных ситуаций), с одной стороны, и математического ожидания порождаемых ими ущербов U – с другой, которые определяют изменение уровня безопасности и состояние систем защищенности человека, объектов инфраструктуры и среды обитания от угроз и опасностей внутреннего и внешнего характера – техногенных, природных, антропогенных [1, 2, 6]. Интегральные риски при этом определяются как произведение, сумма или интеграл:

$$R = PU = \sum_i P_i U_i = \int C(P)U(P)dP = \int C(U)P(U)dU, \quad (1)$$

где P_i, U_i – вероятности и ущербы от основных (дифференцированных) неблагоприятных событий;

C – весовые функции.

Основными задачами в рассматриваемом направлении обеспечения безопасности на основе концепции риска являются [2, 6]:

– формирование фундаментальной базы анализа рисков $R(t)$ в трех основных сферах жизнедеятельности – социальной (N), природной (O) и техногенной (T), составляющих единую сложную социально-природно-техногенную систему «человек–природа–инфраструктура» и функционирующую во времени t :

$$R(t) = F_R\{R_N(t), R_O(t), R_T(t)\}; \quad (2)$$

– построение обобщенной модели указанной сложной системы с определением роли её основных компонентов N, O, T в величинах базовых параметров рисков $R(t)$

– вероятностей возникновения $P(t)$ неблагоприятных процессов и событий (опасностей, вызовов, угроз, кризисов, катастроф) и сопутствующих им ущербов $U(t)$:

$$R(t) = F_R\{P(t), U(t)\}; \quad (3)$$

$$P(t) = F_P\{P_N(t), P_O(t), P_T(t)\}; \quad (4)$$

$$U(t) = F_U\{U_N(t), U_O(t), U_T(t)\}; \quad (5)$$

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

$$R(t) = F_R\{E(t), W(t), I(t)\}. \quad (6)$$

На основе соотношений (1)–(6) разрабатываются основы категорирования чрезвычайных ситуаций, высокорисковых объектов и опасных процессов по величинам рисков $R(t)$.

Риски, как междисциплинарная научная основа оценки комплексной безопасности, включая анализ инициирующих факторов, условий развития и характер последствий аварий и катастроф, базируются на закономерностях, методах, уравнениях и критериях, полученных в фундаментальных областях знаний – математике, физике, химии, механике, информатике, машиноведении, биологии, геологии, геофизике, физике атмосферы и океана, географии, экономике, правоведении, философии, социологии, психологии, физиологии (рис. 2) [2, 6].

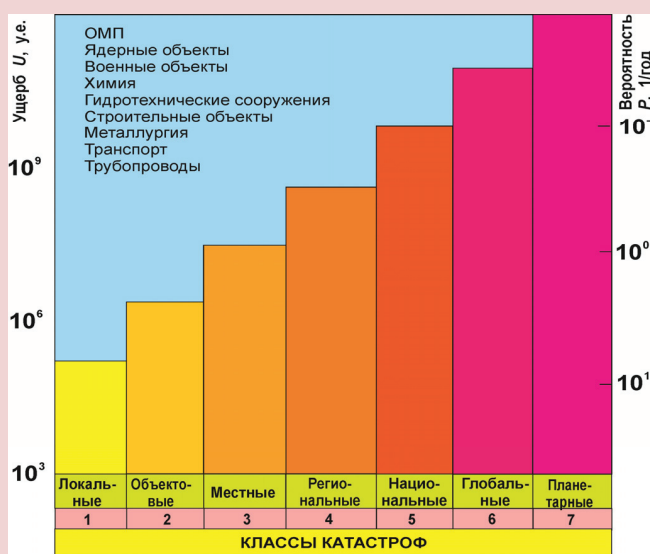
Обобщающими для анализа интегральных рисков являются развитые теории системного анализа, теории хаоса и порядка, теории управления, теории катастроф и построения защит, методы математического и имитационного моделирования, прогнозирования, математической статистики, методы и системы диагностики и мониторинга.

Аварии и катастрофы в зависимости от тяжести возможных последствий (ущербов) и наблюдаемой периодичности их возникновения разделены (рис. 3) на планетарные, глобальные, национальные, региональные, местные, объектовые и локальные [1, 2].

Рисунок 2. Структура основ теории катастроф и анализа сценариев их развития



Рисунок 3. Типы аварий и катастроф с вероятностями их возникновения и возможными ущербами



Первые из них создают тяжелые социально-экономические и экологические последствия для сопредельных стран, последние затрагивают промышленные и санитарно-защитные площади объектов.

В соответствии с этим в зависимости от масштабов и последствий аварийных и катастрофических ситуаций в анализ рисков $R(t)$ вводятся семь (1–7) их классов [1, 2]:

1 класс — локальные, возникающие на компонентах рассматриваемого объекта (деталях, узлах, цехах, зданиях);

2 класс — объектовые, возникающие на территории объекта с последствиями для объекта (предприятие, жилые и промышленные комплексы, плотины, гидростанции, транспортные объекты и комплексы);

3 класс — местные, возникающие на объекте инфраструктуры и природной

среды с последствиями для территорий, населения и объектов жизнедеятельности, муниципальных образований (предприятия, транспортные, энергетические, коммунально-хозяйственные системы, ландшафтные и природные объекты);

4 класс – региональные, возникающие на крупных объектах природной, техногенной и социальной сферы с негативными последствиями;

5 класс – национальные, возникающие при катастрофах на уникальных объектах инфраструктуры при природно-техногенных чрезвычайных ситуациях и на жизненно важных объектах при стихийных бедствиях, а также при террористических актах и военных конфликтах с тяжелыми социально-экономическими и экологическими последствиями для ряда регионов и страны в целом;

6 класс – глобальные, возникающие при катастрофах на объектах техносферы и при стихийных бедствиях в природной среде с тяжелыми социально-экономическими и экологическими последствиями для страны и ряда сопредельных государств;

7 класс – планетарные, возникающие при экстремальных воздействиях военного, техногенного или природного харак-

тера с тяжелыми последствиями для жизнедеятельности государств, континентов и планеты в целом.

По уровню потенциальной опасности (см. рис. 3), по требованиям законодательства и с учетом риска возникновения аварий и катастроф объекты техносферы могут быть разделены (рис. 4) на четыре основные группы [1, 2], для которых предусмотрены соответствующие требования к безопасности:

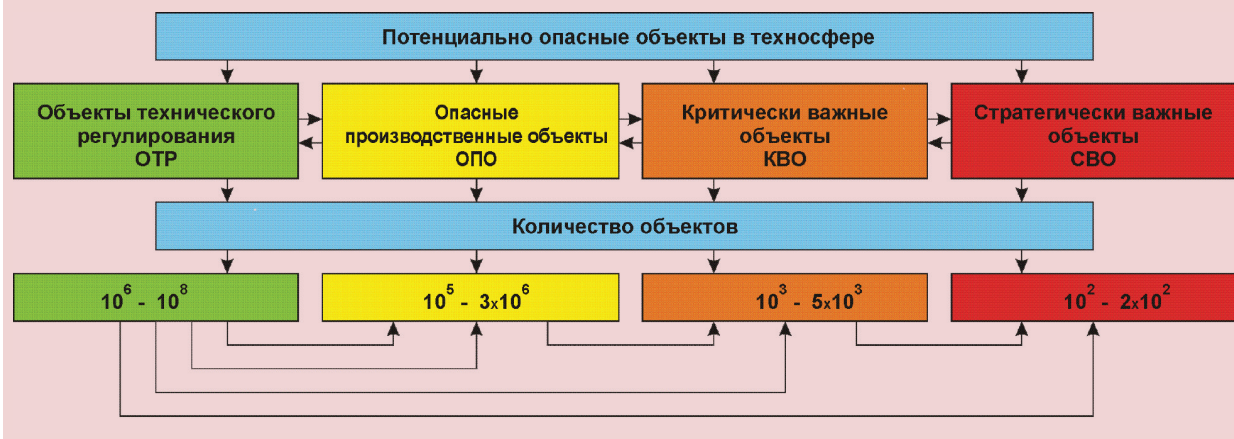
– объекты технического регулирования (ОТР), безопасность эксплуатации которых обеспечивается по закону о техническом регулировании, – их число измеряется миллионами и десятками миллионов;

– опасные производственные объекты (ОПО), безопасность эксплуатации которых обеспечивается по закону о промышленной безопасности, – их число измеряется сотнями тысяч;

– критически важные объекты (КВО), безопасность эксплуатации которых обеспечивается по решению Совета Безопасности Российской Федерации, – их число измеряется тысячами;

– стратегически важные объекты (СВО), безопасность функционирования которых влияет на состояние национальной безопасности страны, – их число измеряется сотнями.

Рисунок 4. Структурная схема анализа и категорирования потенциально опасных объектов



Из данных рис. 3 и 4 следует, что в настоящее время в наибольшей степени актуален анализ рисков тяжелых катастроф (5–7 классов по рис. 3) для критически (КВО) и стратегически важных объектов (СВО).

В случаях, когда для рассматриваемого объекта техносферы в соответствии с выражением (2) определены относительные (за единичный период времени) системные риски \bar{R}_S (соответственно для населения \bar{R}_N , для объектов техносферы \bar{R}_T и для окружающей среды \bar{R}_O), то для него с использованием этих данных в величинах относительных системных рисков \bar{R}_S могут быть построены [2, 6] поверхности безопасных, опасных и предельных состояний (рис. 5):

$$\bar{R}_S = \sqrt{\bar{R}_N^2 + \bar{R}_T^2 + \bar{R}_O^2}. \quad (7)$$

При этом, если на шкалах \bar{R}_T , \bar{R}_N и \bar{R}_O отложить названные выше классы 1–7 аварий и катастроф по степени возрастания их тяжести, то представляется возможным выполнить количественную оценку степени безопасности рассматриваемого объекта и любого из его компонентов по критериям рисков.

Такая оценка характеризуется положением радиуса-вектора этого объекта в трехмерном пространстве « $\bar{R}_T - \bar{R}_N - \bar{R}_O$ ».

Для перевода рассматриваемого объекта в безопасные состояния наряду с использованием рисков названных выше составляющих риска \bar{R}_N , \bar{R}_T , \bar{R}_O и системного риска в целом \bar{R}_S (см. рис. 5) необходимо понизить возможность обуславливающих их согласно выражению (6) параметров неконтролируемых выходов потенциально опасных веществ W , энергий E и потоков информации I по соответствующим им компонентам риска:

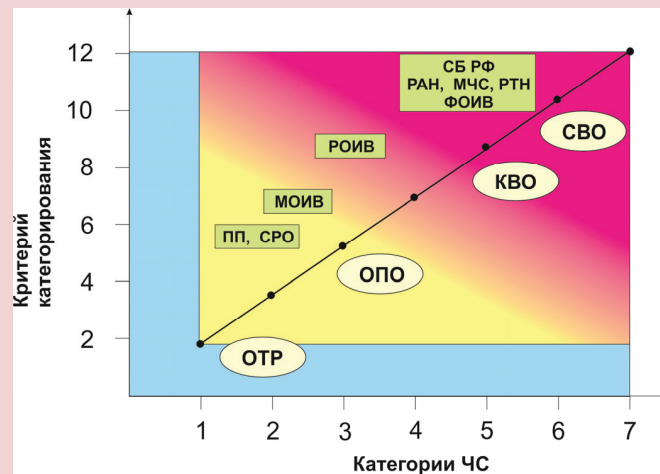
$$\bar{R}_S = \sqrt{\bar{R}_W^2 + \bar{R}_E^2 + \bar{R}_I^2}. \quad (8)$$

Из сказанного следует, что за основу анализа условий безопасной эксплуатации объектов техносферы могут быть приняты, с одной стороны, показатели (классы, категории) возможных чрезвычайных ситуаций (см. рис. 2), а с другой – показатели категорирования самих потенциально опасных объектов (см. рис. 4). Последние могут быть представлены в виде количественных значений (рис. 6), определяемых из соот-

Рисунок 5. Области опасных и безопасных состояний по показателям относительных рисков



Рисунок 6. Категорирование объектов по величинам рисков



ношения соответствующих относительных величин рисков для человеческих жизней, техносферы и окружающей среды по выражению (7). Для количественного категорирования опасных процессов и объектов должно быть использовано также выражение (8) для составляющих риска $\bar{R}_W, \bar{R}_E, \bar{R}_I$.

При изменении названных выше составляющих системного риска, изменяющихся в пределах от 1 (локальные аварийные ситуации) до 7 (планетарные катастрофические ситуации), относительная величина системного риска $\bar{R}_S(t)$ будет изменяться в пределах от 1,86 (локальная авария) до 12,12 (планетарная катастрофа).

Если принять, что даже одна максимальная составляющая из $\bar{R}_N, \bar{R}_T, \bar{R}_O$ и $\bar{R}_W, \bar{R}_E, \bar{R}_I$ системного риска $\bar{R}_S(t)$ соответствует данному классу чрезвычайной ситуации, а другие составляющие отвечают меньшему классу опасной ситуации, то граничные величины относительных рисков будут в соответствии с выражениями (7) и (8) следующими: для локальных ЧС – от 1,86 до 2,45; для объектовых – от 2,46 до 3,16; для местных – от 3,17 до 4,24; для региональных – от 4,25 до 5,19; для национальных – от 5,20 до 6,16; для глобальных – от 6,17 до 7,14; для планетарных – от 7,14 до 12,12.

В определении соответствующих показателей категорирования опасных объектов по величинам рисков и управлении этими показателями должны участвовать для различных типов объектов соответствующие их подведомственности административные и надзорные органы, в том числе для объектов типа ОТР ими могут быть (см. рис. 6) сами промышленные предприятия (ПП) или саморегулируемые организации (СРО), для объектов типа ОПО – местные органы исполнительной власти (МОИС) или региональные органы исполнительной власти (РОИВ), для объектов КВО и СВО ими являются Совет Безопасности Российской Федерации (СБ РФ), Российская академия наук (РАН), Министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС), Ростехнадзор (РТН), Федеральные органы исполнительной власти (ФОИВ).

С учетом изложенного можно заключить, что интегральные экономические риски, определяемые произведением единичных рисков на число объектов, оказываются сопоставимыми как для глобальных, так и для объектовых катастроф. При этом ущербы от единичных катастроф глобального и объектового масштаба отличаются на 8–10 порядков,

риски — на 4–6 порядков, а интегральные ущербы — на 1–3 порядка при семи классах техногенных и природно-техногенных катастроф по рис. 3, 5 и 6.

Для всего спектра объектов техносферы категорий СВО, КВО, ОПО и ОТР типы аварийных и катастрофических ситуаций, степень их защищенности и сопутствующие им риски эксплуатации при переходе от нормальных условий работы к аварийным можно охарактеризовать [2, 6] определениями по рис. 7 как:

— штатные ситуации — имеющие место при функционировании объектов в пределах, установленных нормами и правилами; риски для них управляемые и защищенность повышенная;

— режимные чрезвычайные ситуации — имеющие место при отклонении от нормальных условий эксплуатации при штатном функционировании потенциально опасных объектов; последствия от них предсказуемые, риски — регулируемые, защищенность от них достаточная;

— проектные аварийные ситуации — возникают при выходе объекта за пределы штатных режимов с предсказуемыми и приемлемыми последствиями; риски для них анализируемые, а защищенность частичная;

— запроектные аварийные ситуации — возникают при необратимых повреждениях ответственных элементов объекта с высокими ущербами и человеческими жертвами

и с необходимостью в последующем проведения восстановительных работ; риски для них повышенные и степень защищенности от недостаточная;

— гипотетические аварийные ситуации — могут возникать при непредсказанных заранее вариантах и сценариях развития с максимально возможными ущербами и жертвами; характеризуются высокими рисками, защищенность от них низкая, прямому восстановлению объекты не подлежат.

Таким образом, общая структура анализа и управления безопасностью потенциально опасных объектов техносферы по критериям рисков включает в себя классификацию типов аварийных и катастрофических ситуаций, определение класса аварий и катастроф по уровням возможных рисков и ущербов, а также характеристику типов потенциально опасных объектов (рис. 8).

В рассматриваемой структуре характеристики типов аварийных и катастрофических ситуаций, показанные в левой части рис. 8, возникающие для них риски и степени защищенности объектов при переходе от нормальных условий их эксплуатации к аварийным приняты по рис. 7.

Классификация типов, объектов и инфраструктуры (рис. 4 — правая часть) оказывается увязанной с категориями и классами аварий, катастроф (рис. 4 — центральная часть) и уровнями рисков для

Рисунок 7. Типы чрезвычайных (аварийных) ситуаций и степень защищенности от них объектов

№ п/п	Аварийные ситуации	Защищенность	Риски
1.	Нормальные условия эксплуатации	Повышенная	Управляемые
2.	Отклонения от нормальных условий (режимные ЧС)	Достаточная	Регулируемые
3.	Проектные аварии	Частичная	Анализируемые
4.	Запроектные аварии	Недостаточная	Повышенные
5.	Гипотетические аварии	Низкая	Высокие

Рисунок 8. Общая структура анализа и управления безопасностью объектов по критериям рисков



возникающих аварийных и катастрофических ситуаций и может быть выполнена по оценкам степени их тяжести и наносимым ущербам, а также оценкам параметров вероятности их возникновения и уровней возможных человеческих и материальных потерь. В этом случае для ОТР и ОПО анализируются ситуации позиций 1 – 3 по рис. 7, для КВО – соответственно ситуации 1 – 4, для СВО – ситуации 1 – 5.

Как уже упоминалось, фундаментальные научные исследования характеристик безопасной эксплуатации объектов техносферы по параметрам рисков возникновения чрезвычайных ситуаций включают в себя, в первую очередь, исследования критериев прочности, ресурса, живучести и безопасности рассматриваемых машин и конструкций с анализом условий достижения в их элементах предельных состояний в процессе эксплуатации на разных этапах и режимах жизненного цикла [2, 6, 8, 15]. В систему таких критериев механики деформирования и разрушения на разных стадиях исследований и разработки соответствующих методов расчетов в этой области последовательно включался анализ и определение базовых характеристик

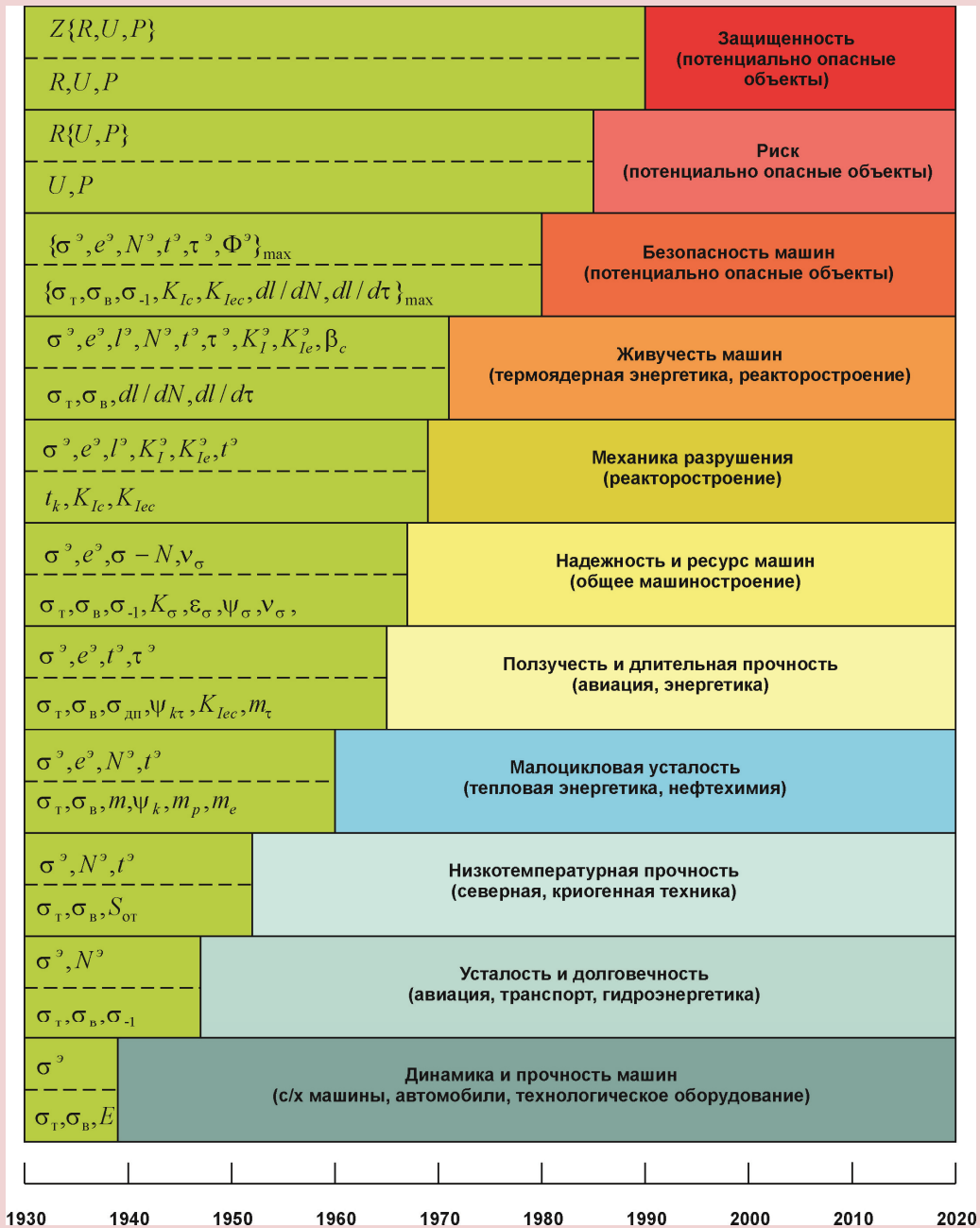
механических свойств конструкционных материалов, критериально определяющих условия достижения предельного состояния во всё усложняющихся условиях эксплуатации, требующих применения специальных подходов к выполнению соответствующих расчетов, высшей степенью которых к настоящему времени становится определение параметров безопасности, риска и защищенности рассматриваемых объектов техносферы [8, 15].

На рисунке 9 по временной шкале, начиная с 30-х годов XX века и заканчивая вторым десятилетием XXI века, показаны разделы фундаментальных научных исследований прочности R_σ , ресурса $R_{N,\tau}$, надежности $P_{P,R}$, живучести $L_{l,d}$, безопасности S , риска R и защищенности Z применительно к различным типам объектов техносферы. В историческом и научно-техническом плане в этом направлении сложилась устойчивая цепочка традиционно решаемых и названных выше проблем [2, 6]:

$$R_\sigma \rightarrow R_{N,\tau} \rightarrow P_{P,R} \rightarrow L_{l,d} \rightarrow S \rightarrow R \rightarrow Z \rightarrow Z \quad (9)$$

При этом защищенность объекта Z определяется способностью оборудования противостоять возникновению и развитию

Рисунок 9. Этапы развития методов расчетов и критериев прочности, ресурса, надежности, живучести, безопасности, риска и защищенности



неблагоприятных ситуаций в штатных и нештатных условиях его работы и описывается соответствующим функционалом от основных критериальных параметров прочности, ресурса, живучести, безопасности и риска:

$$Z(\tau) = F_z \{R(\tau), S(\tau), L_{ид}(\tau), P_{PR}(\tau), R_{N\tau}(\tau), R_o(\tau)\}. \quad (10)$$

Как следует из рис. 9, каждая последующая ступень или этап развития науки и техники опирается и использует в обязательном порядке предыдущие. При этом в качестве базовых параметров эксплуатационных воздействий P^3 приняты эквивалентные эксплуатационные напряжения σ^3 ,

деформации e^3 , числа циклов N^3 , время τ^3 , температура t^3 , внешняя среда Φ^3 (радиация, коррозия, электромагнитное поле), коэффициенты интенсивности напряжений K_I^3 и деформаций K_{Ie}^3 :

$$P^3 = \{ \sigma^3, e^3, N^3, \tau^3, t^3, \Phi^3, K_I^3, K_{Ie}^3 \}. \quad (11)$$

В качестве базовых характеристик механических свойств используются пределы текучести σ_T , пределы порочности σ_B , пределы выносливости σ_{-1} , пределы длительной прочности $\sigma_{дп}$, сопротивление отрыву S_k , предельная пластичность ψ_k , критические коэффициенты интенсивности напряжений K_{Ic} и деформаций K_{Iec} :

$$R_\sigma = F \{ \sigma_T, \sigma_B, \sigma_{-1}, \sigma_{дп}, S_k, \psi_k, K_{Ic}, K_{Iec} \}. \quad (12)$$

Производными характеристик механических свойств материала, конструктивных форм и условий нагружения объекта являются такие характеристики, как длительная пластичность $\psi_{кр}$, эффективные коэффициенты концентрации напряжений K_σ , чувствительность к абсолютным размерам ε_σ и асимметрии цикла ψ_σ , коэффициент вариации ν_σ , скорости роста трещин по числу циклов dl/dN и по времени $dN/d\tau$, чувствительность к внешней среде β_c . Тогда условия прочности записываются в форме:

$$P^3 \leq R_\sigma \{ \psi_{кр}, K_\sigma, \varepsilon_\sigma, \psi_\sigma, \nu_\sigma, dl/dN, dN/d\tau, \beta_c \}. \quad (13)$$

Для обеспечения ресурса (в поцикловом, во временном или в параметрах стойкости к среде измерениях) необходимо выполнить условие:

$$R_{N,\tau,p} \leq R_{N,\tau}^c = \{ N^3 / N_c, \tau^3 / \tau_c, \Phi^3 / \Phi_c \}, \quad (14)$$

где $R_{N,\tau}^c$ – критическое (предельное) значение ресурса, выражаемое через критические (разрушающие) циклы N_c , время τ_c или воздействия среды Φ_c .

Параметры надежности $P_{P,R}$ по критериям прочности R_σ и ресурса определяются

по выражениям (10)–(14), когда в них вводятся вероятностные характеристики прочности, пластичности, эксплуатационной нагруженности с учетом коэффициентов вариации ν указанных характеристик:

$$P_{P,R} = F \{ P^3, R_\sigma, R_{N,\tau,\Phi}, \nu \}. \quad (15)$$

В соответствии с выражением (15) механические испытания образцов конструкционного материала для определения параметров рассеяния (в т.ч. коэффициентов вариации ν) становятся чрезвычайно трудоемкими. В ряде случаев для установления кривых распределения базовых характеристик механических свойств $\sigma_B, \psi_k, \sigma_{-1}, \sigma_{дп}$ проводились испытания от 10 до 2000 образцов на одном из режимов нагружения.

При оценках живучести основное внимание уделяется определению уровня накопленных повреждений d , измеряемых указанными выше относительными параметрами $N^3/N_c, \tau^3/\tau_c, \Phi^3/\Phi_c$, или ростом трещин (дефектов) от начальных размеров l_0 до текущих l и критических l_c . Этот рост трещин определяется их скоростями $dl/dN, dl/d\tau$, которые в свою очередь зависят от размахов коэффициентов интенсивности напряжений ΔK_I или деформаций ΔK_{Ie} . При достижении предельного состояния выполняются условия разрушения по критериям линейной (K_{Ic}) или нелинейной (K_{Iec}) механики разрушения. Тогда живучесть $L_{d,l}$ объектов с учетом повреждения d и роста трещины l будет оцениваться по условию:

$$L_{d,l} = F \{ P^3, R_\sigma, R_{N,\tau,\Phi} \} = F \{ d, dl/d\tau, dl/dN \} \leq F \{ N^3 / N_c, \tau^3 / \tau_c, \Phi^3 / \Phi_c, K_I^3 / K_{Ic}, K_{Ie}^3 / K_{Iec} \}. \quad (16)$$

Если в выражение (16) вводятся статистические параметры, то характеристика живучести $L_{d,l}$ приобретает вероятностный характер. Такая постановка задачи требует проведения механических испытаний больших серий образцов для контрольных

режимов нагружения при определении, в первую очередь, параметров dl/dN , dl/dt , K_{lc} , K_{Iec} .

Безопасность S объектов гражданского и оборонного назначения, технических систем, машин, конструкций, изделий и материалов становится в последние годы одним из определяющих параметров промышленного производства, экономики и жизнедеятельности.

На протяжении длительного времени требования к безопасности S оставались преимущественно качественными или относились к технике безопасности на производстве. Однако после ряда крупнейших техногенных и природно-техногенных аварий и катастроф на объектах атомной и тепловой энергетики, на нефтехимических комплексах, ракетно-космических системах, атомных подводных лодках стало все более очевидным, что безопасность S должна быть количественно определяемым, контролируемым и регулируемым параметром. Как уже упоминалось выше, для достижения этой цели было предложено использовать количественные характеристики рисков R . При этом на основе выражений (1) и (2) под рисками $R(t)$ для оценки безопасности S объектов техносферы было предложено понимать функционал F_R , зависящий от вероятности $P(t)$ возникновения техногенных аварий или катастроф по критериям прочности и ресурса и математического ожидания последствий (ущербов) $U(t)$, порождаемых этими авариями и катастрофами [1, 2, 6].

В свою очередь параметры риска $P(t)$ на стадии проектирования высоконагруженных машин и конструкций различного назначения (АЭС, ГЭС, ТЭС, ракетно-космических комплексов – РКК, летательных аппаратов – ЛА, атомных подводных лодок – АПЛ, химических производств – ХП, магистральных трубопроводов – МП и др.) определяются по выражению (15)

в виде функционала эксплуатационной нагруженности P^3 , сопротивления разрушению R_σ , ресурса и характеристик их рассеяния v (рис. 10). Для стадии изготовления, испытаний и эксплуатации дополнительно к выражению (15) в анализ вероятности аварий или катастроф вводятся характеристики живучести $L_{d,l}$ по (16). Штатные системы диагностики и мониторинга указанных параметров должны обеспечивать работу объектов в пределах допустимых значений указанных параметров, а системы автоматической защиты – включать их при выходе этих диагностируемых параметров за пределы допустимых. Вывод из эксплуатации потенциально опасных объектов также должен сопровождаться анализом всего комплекса определяющих безопасность этого процесса параметров и недопущением их выхода за разрешенные пределы.

Ущерб $U(t)$, связанный с несоблюдением условий прочности и ресурса, зависит от типа предельного состояния, достигаемого объектом при эксплуатации. Наиболее значимыми (для жизни и здоровья операторов, персонала, населения, для повреждений самих объектов и окружающей среды) ущербы $U(t)$ в выражениях (1), (3) и (5) оказываются в тех случаях, когда возникают протяженные хрупкие разрушения, глобальная потеря устойчивости, вязкие разрушения после роста трещин при циклическом и длительном нагружении.

Углубленный анализ крупнейших техногенных и природно-техногенных катастроф самых последних лет показывает необходимость совершенствования применяемых научных, инженерных, технологических, нормативных, надзорных и правовых решений в области обеспечения безопасности и защищенности инженерных объектов с высокими уровнями рисков. Одним из путей такого совершенствования может быть детальное рассмотрение

Рисунок 10. Структурная схема анализа прочности и безопасности объектов техносферы на различных стадиях жизненного цикла



приведенной выше (см. рис. 9) исторически сложившейся последовательности формирования фундаментальных научных основ разработки инженерных методов расчетов и испытаний, создания норм и правил проектирования и изготовления объектов техносферы, обеспечения их функционирования в заданных пределах проектных режимов и параметров в направлении ее приложения к задачам нормирования соответствующих характеристик (рис. 11).

Базовыми поэтапно повышающимися требованиями к штатному (нормальному) функционированию и проектным параметрам функционирования для высокорисковых объектов техносферы на всех стадиях их жизненного цикла (см. выражение (9)) в настоящее время стали «прочность → жесткость → устойчивость → ресурс → надежность → живучесть → безопасность → риск → защищенность».

При этом могут быть приняты следующие, входящие в данную последовательность (см. рис. 11), определения:

R_{σ} – прочность, определяемая сопротивлением разрушению несущих элементов оборудования при штатных и аварийных воздействиях;

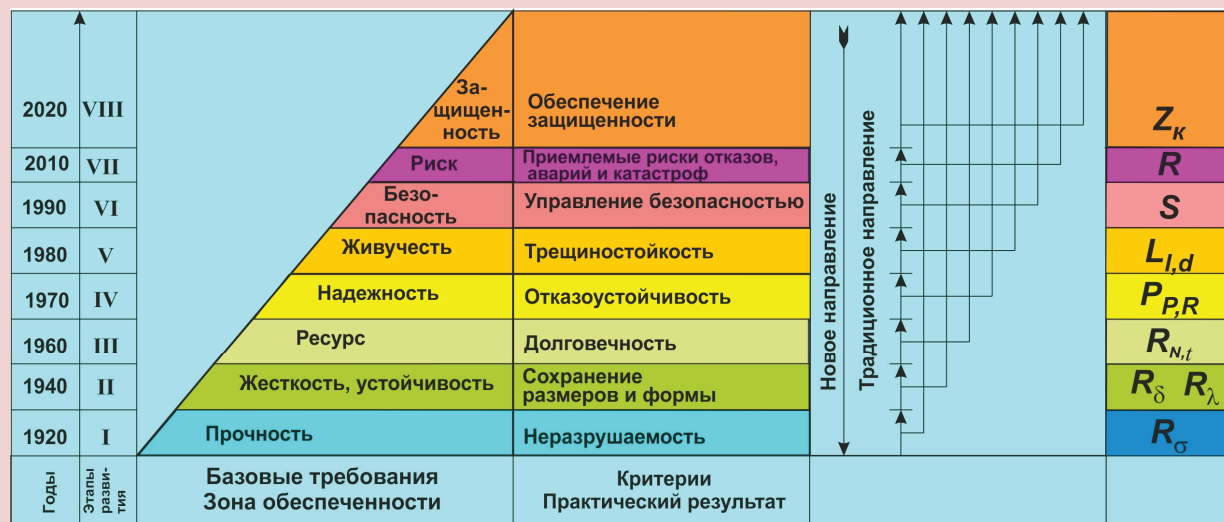
R_{λ} – устойчивость, определяемая сопротивлением потери начальной формы λ несущих элементов оборудования при действии штатных или аварийных нагрузок;

R_{δ} – жесткость, определяемая сопротивлением несущих элементов оборудования достижению недопустимых деформаций δ при действии штатных или аварийных нагрузок;

$R_{N,\tau}$ – ресурс (долговечность), определяемый временем τ или числом циклов N до разрушения или потери устойчивости;

$P_{P,R}$ – надежность, определяемая способностью оборудования выполнять задан-

Рисунок 11. Иерархическая структура критериев обеспечения работоспособности оборудования



ные функции в штатном или поврежденном состоянии при заданных нагрузках P или ресурсе R_{Nt} ;

$L_{l,d}$ – живучесть, определяемая способностью оборудования выполнять свои функции в ограниченном объеме при недопустимых нормами повреждениях d и размерах дефектов (трещин) l ;

S – безопасность, определяемая способностью оборудования не переходить в аварийное или катастрофическое состояние с нанесением значительных ущербов населению, техносфере и природной среде;

R – риск, определяемый вероятностью возникновения на оборудовании неблагоприятных ситуаций с возможными ущербами от этих ситуаций в штатных и нештатных условиях;

Z_k – защищенность, определяемая способностью оборудования противостоять возникновению и развитию неблагоприятных ситуаций в штатных и нештатных условиях.

Названные выше параметры работоспособности являются функциями времени τ , причем последний из них – защищенность $Z_k(\tau)$ – наиболее важен для экстремально нагруженного высокорискового оборудования (см. рис. 10).

На представленной на рис. 11 диаграмме выделены периоды и основные этапы развития (I–VIII), базовые требования, основные практические результаты и последовательности реализации рассматриваемых подходов. При этом видно, что каждый вышерасположенный элемент опирается на нижестоящие элементы, как на основу. Это означает, что решение проблем защищенности, риска и безопасности должно в полной мере опираться на решение проблем «живучести → надежности → ресурса → жесткости → устойчивости → прочности» с прохождением через традиционные этапы их взаимодействия.

При этом следует подчеркнуть, что фундаментальные результаты определения и обеспечения прочности (этап I) были получены в современном представлении в течение длительного времени к началу XX века, а замкнутый анализ жесткости и устойчивости (этап II) завершился к его середине. В XX веке сформировались также теория и практика обеспечения «ресурса → надежности → живучести» (этапы III, IV, V). В недавнем прошлом была поставлена фундаментальная проблема анализа и обеспечения безопасности и риска (этап VI) для всех потенциально опасных объектов

с переходом (этап VII) на управление безопасностью по критериям рисков. При этом требование обеспечения безопасности было сформулировано как определяющее, что потребовало развития нового направления в обеспечении работоспособности техногенной инфраструктуры «VII→I», как перспективного для обеспечения условий ее безопасного функционирования.

В соответствии со «Стратегией национальной безопасности Российской Федерации» [13, 14] обеспечение безопасности и защищенности инфраструктуры жизнедеятельности страны является одной из целей государственной научно-технической политики, в связи с чем задача обеспечения безопасности и защищенности высоконагруженных, потенциально опасных объектов от аварий и катастроф техногенного и природного характера (этап VIII) ставится в качестве новой и актуальной на современном этапе.

Базовым алгоритмом анализа и обеспечения защищенности оборудования от неблагоприятных ситуаций (рис. 12) с учетом выражения (10) является реализация основных, изложенных выше подходов к обоснованию их эксплуатационной

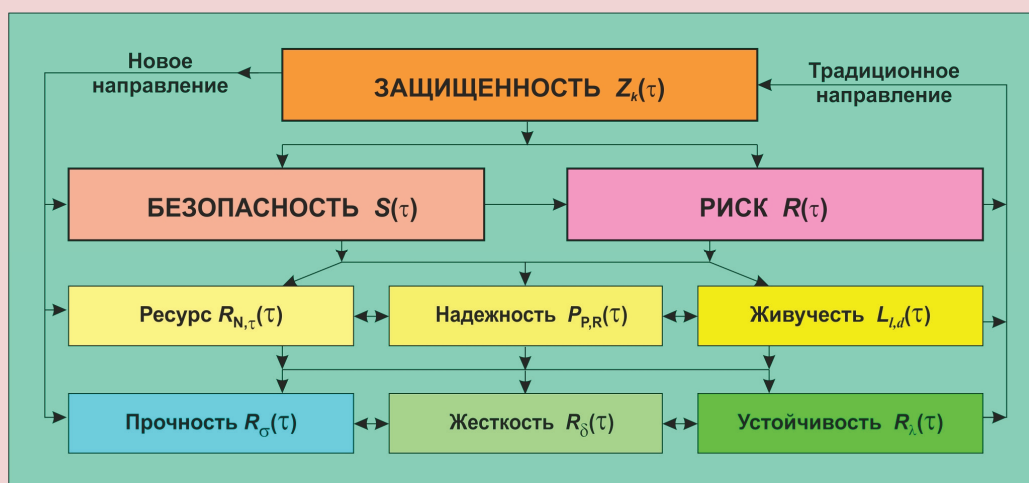
безопасности в штатных, аварийных и катастрофических ситуациях.

Новым перспективным направлением обеспечения защищенности высокорисковых объектов техносферы от неблагоприятных ситуаций является то (левая ветвь на рис. 12), которое изначально формирует уровень защищенности $Z_k(\tau)$ и определяет все основные группы требований [1, 2, 6]:

- безопасности $S(\tau)$ и рисков $R(\tau)$;
- ресурса $R_{N\tau}(\tau)$, надежности $P_{PR}(\tau)$, живучести $L_{ld}(\tau)$;
- прочности $R_c(\tau)$, жесткости $R_\delta(\tau)$, устойчивости $R_\lambda(\tau)$.

В рамках традиционного направления изначально обеспечиваются следующие группы требований: прочности → жесткости → устойчивости; ресурса → надежности → живучести; безопасности → рисков. Каждому из традиционных «I→VIII» и новых «VIII→I» (по рис. 11) этапов соответствовал свой практический результат в научных исследованиях, проектировании, создании и эксплуатации объектов техносферы: «неразрушаемость → сохранение размеров и формы → долговечность → отказоустойчивость → трещиностойкость → безопасность → приемлемые риски → защищенность от отказов, аварий и катастроф».

Рисунок 12. Традиционный и перспективный алгоритмы анализа и обеспечения защищенности объектов техносферы



Указанная последовательность неблагоприятных событий, вызывающих повреждения объектов и приводящих к катастрофе, может иметь различный вид (рис. 13), характеризуемый увеличением во времени t рисков $R(t)$, характеризуемых при их анализе соответствующими, рассмотренными выше параметрами.

Наличие потенциальной опасности применительно к тому или иному объекту не всегда сопровождается ее негативным воздействием на наиболее важные его элементы. Для реализации опасности необходимо выполнение минимум трех условий: опасность реально действует (присутствует); объект находится в зоне действия опасности; объект не имеет достаточного уровня защищенности $Z_k(t)$. В последнем случае должны применяться новые требования, критерии и методы повышения защищенности до заданного уровня.

В общем случае для комплексного анализа условий безопасной эксплуатации объектов техносферы по критериям прочности и ресурса на основании результатов соответствующих фундаментальных и прикладных исследований была предло-

жена обобщенная диаграмма прочности, статического, циклического и временного ресурса, живучести и безопасности (рис. 14) с учетом воздействия коррозионной среды, радиации, вибраций, усталости, динамики и статики приложения нагрузок [1, 2, 6, 16–18].

Анализ прочности, ресурса и безопасности на основе этой диаграммы выполняется с привлечением соответствующих положений сопротивления материалов, теорий упругости, усталости, пластичности, ползучести, линейной и нелинейной механики разрушения, механики катастроф и теории рисков. В соответствии с этим подходом анализируются долговечность конструкций в пределах от 100 секунд до сотен и тысяч часов, в условиях температур t от -270°C до 1000°C , при числе циклов N от 10^0 до $10^9 - 10^{10}$, временном ресурсе τ от 10^{-2} до 10^6 часов, при линейных размерах дефектов l от 10^{-2} до 10^3 мм.

В такой комплексный анализ входят штатные, аварийные и катастрофические ситуации (проектные, запроектные и гипотетические). При этом для штатных ситуаций достаточными оказываются

Рисунок 13. Алгоритм анализа поврежденности объектов и соответствующих им рисков

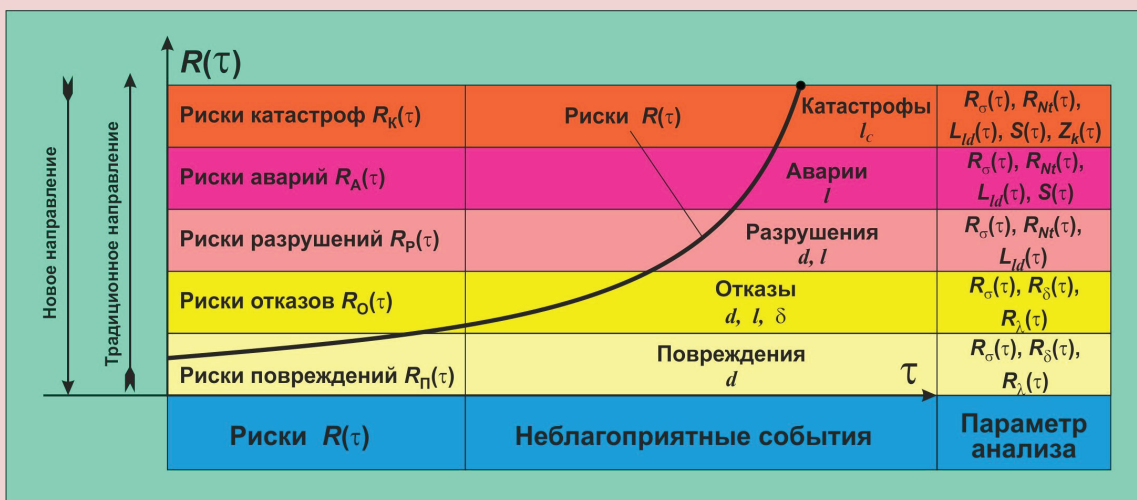
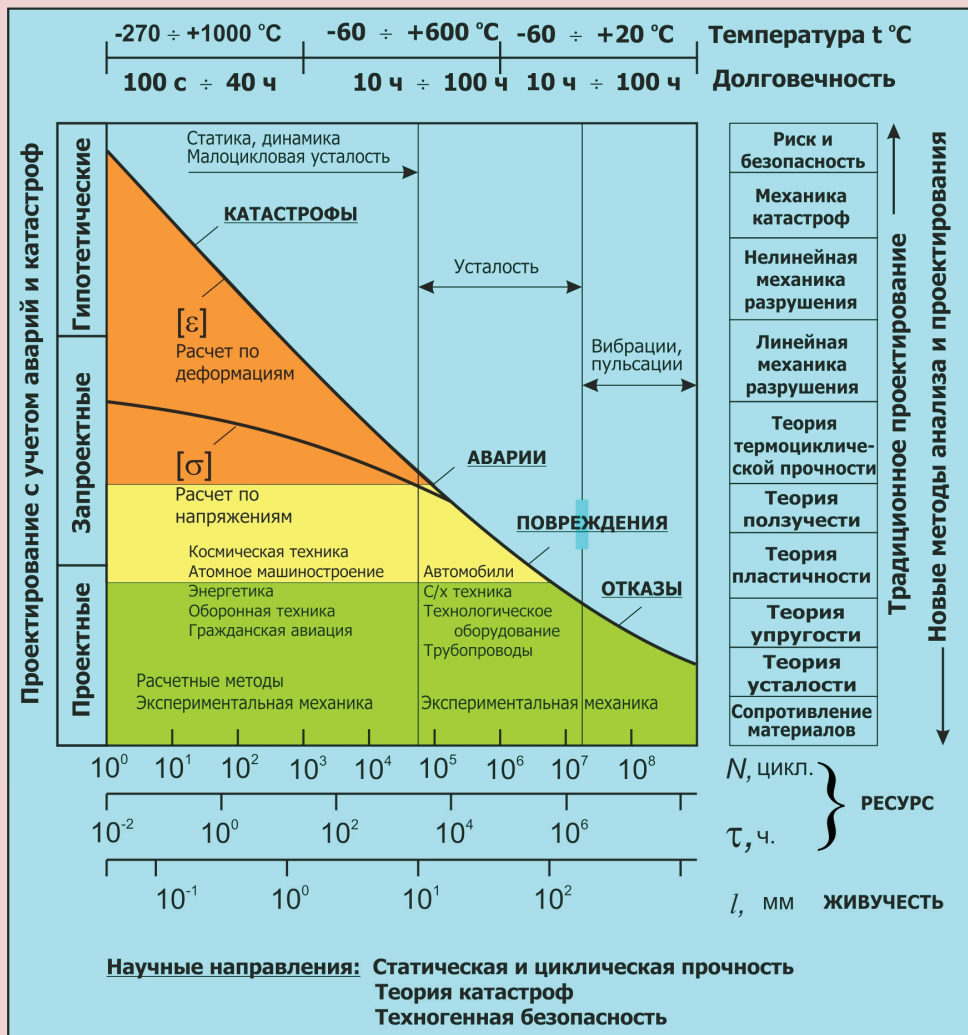


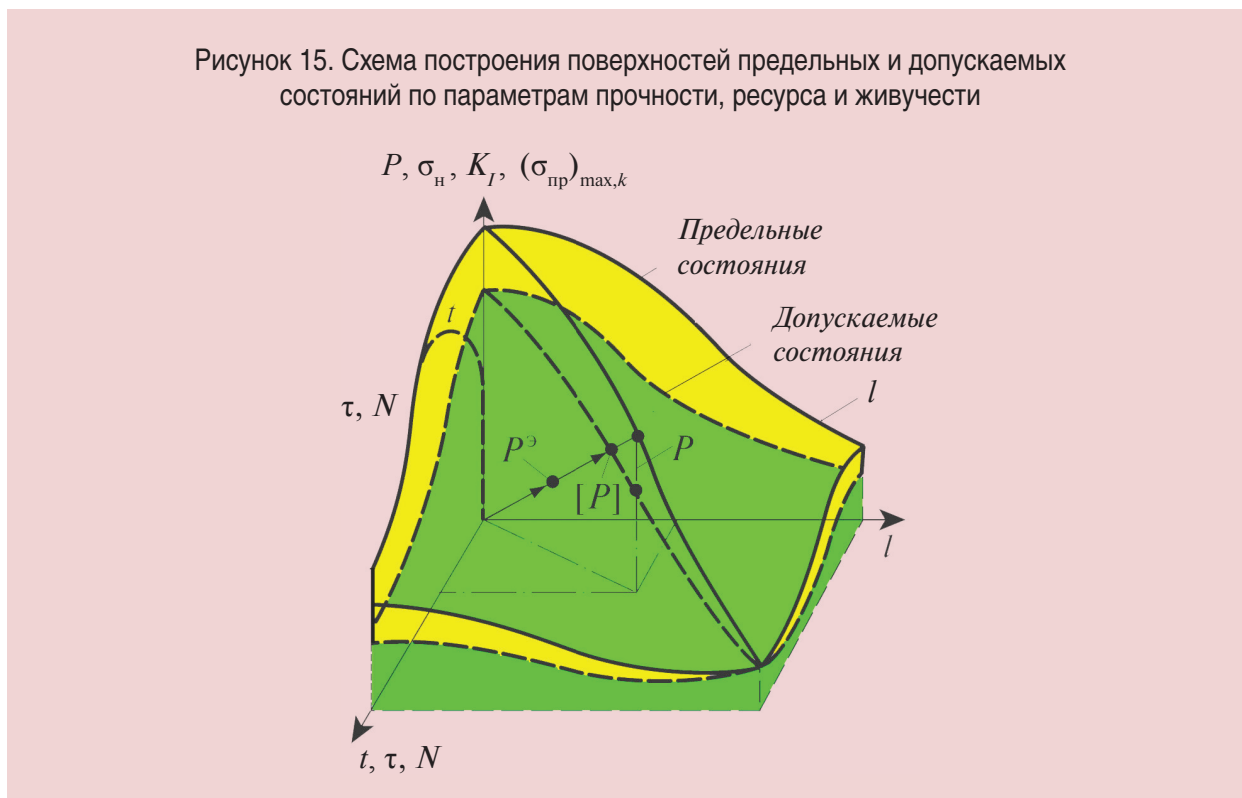
Рисунок 14. Обобщенная диаграмма опасных и предельных состояний для объектов техносферы



традиционные нормы расчетов и проектирования; для аварийных и катастрофических ситуаций требуются новые методы анализа и проектирования. По мере перехода от штатных к аварийным и катастрофическим ситуациям расчеты по допускаемым напряжениям $[\sigma]$ оказываются недостаточно чувствительными к варьируемым параметрам (N , τ , l) в силу развития пластических деформаций и деформаций ползучести, и это обстоятельство требует перехода от расчетов по допускаемым напряжениям $[\sigma]$ к расчетам по допускаемым деформациям $[\varepsilon]=[\epsilon]$.

По результатам выполненного в соответствии с описанным алгоритмом анализа условий достижения предельных состояний по критериям прочности, ресурса, живучести и безопасности в общем случае с учетом выражений (7) – (16) по аналогии с подходом к построению рис. 5 для предельных поверхностей рисков, могут быть построены (рис. 15) пространственные поверхности предельных и допускаемых состояний в трехмерной системе координат [2, 6], осями которой являются: ось показателей эксплуатационной нагруженности (усилий P ,

Рисунок 15. Схема построения поверхностей предельных и допускаемых состояний по параметрам прочности, ресурса и живучести



номинальных напряжений σ_n , коэффициентов интенсивности напряжений K_p , приведенных локальных максимальных напряжений $(\sigma_{pr})_{max,k}$ в зонах концентрации); ось температурно-временных и циклических параметров эксплуатации (температура t , время τ , число циклов нагружения N); ось состояния дефектности (размеры l дефектов с учетом их формы и расположения).

В соответствии с этой трактовкой образование разрушения, недопустимых пластических деформаций или трещин соответствует достижению предельного состояния (поверхности предельных состояний). Предельная нагрузка P в этом случае является вектором, проходящим через начало координат с углами, соответствующими данному состоянию конструкции (по параметрам $l, t, \tau, N, \sigma_n, K_p, (\sigma_{pr})_{max,k}$). Если в выражения (11)–(16) ввести необходимые запасы n по указанным параметрам, то от поверхности предельных состояний

можно перейти к поверхности допускаемых состояний и допускаемой нагрузке $[P]$. На основе изложенных положений прочность, ресурс и живучесть можно считать обеспеченными, если вектор эксплуатационной $P^э$ нагрузки будет меньше или равен вектору допускаемой $[P]$ нагрузки ($P^э \leq [P]$).

Классические (традиционные) методы расчета прочности и ресурса развивались в предположении бездефектности конструкционного материала ($l=0$). В этом случае от предельных и допускаемых поверхностей можно перейти к двумерным предельным и допускаемым кривым (в плоскости « $P, \sigma_n, K_p, (\sigma_{pr})_{max,k} - t, \tau, N$ ») статической (при заданной температуре t), длительной статической (по заданному времени τ) и циклической (по заданному числу циклов N) прочности (см. рис. 15). Прочность и живучесть на первых этапах определялись по критериям линейной механики разрушения (статическая трещиностойкость) для плоскости « $P, \sigma_n, K_p, (\sigma_{pr})_{max,k} - l$ ».

Для современных расчетов прочности, ресурса и живучести с использованием предельных и допускаемых состояний (см. рис. 15) становится важным принятие единых уравнений состояния, единых критериев разрушения и единых комплексов расчетных характеристик в выражениях (11)–(16) независимо от типа конструкции, свойств конструкционных материалов и условий эксплуатационного нагружения. При этом наиболее перспективным, как отмечалось выше, является поэтапный переход от расчетов в напряжениях (что принято пока в большинстве нормативных документов) к расчетам в деформациях [2, 6].

Для уточненных оценок остаточной прочности, ресурса, живучести и безопасности базовые исходные уравнения должны включать изменяющиеся в процессе эксплуатации напряжения и предельные состояния с учетом их зависимости от условий эксплуатации – текущих характеристик механических свойств материалов, чисел циклов, времени, температур, рабочих сред [2, 6, 15, 19].

При этом, если для стадии проектирования или эксплуатации в расчеты будут введены статистические характеристики (функции распределения и их параметры) нагруженности, механических свойств материалов и дефектности деталей, то представляется возможным определить вероятностные исходные характеристики прочности, ресурса и живучести, надежности, риска и безопасности рассматриваемых конструкций.

Особая роль в обеспечении безопасных условий эксплуатации объектов техносферы, их надежности и качества работы, принадлежит системам диагностики и мониторинга реального состояния элементов и узлов машин и конструкций по приведенным выше параметрам [2–6, 19, 20]

при их эксплуатации на всех рассматриваемых режимах и стадиях жизненного цикла (см. рис. 10). При использовании действующих и разработках новых диагностических систем применительно к каждому классу катастроф и каждому типу аварийных ситуаций должны быть выделены следующие разновидности измеряемых характеристик:

- характеристики состояния наиболее важных систем потенциально опасных компонентов оборудования в штатных и аварийных ситуациях;
- характеристики повреждающих и поражающих факторов при возникновении и развитии аварийных ситуаций;
- характеристики непрерывного изменения состояния конструкционных материалов и их свойств.

К наиболее важным диагностируемым характеристикам и параметрам состояния эксплуатируемых объектов относятся имеющие место в их наиболее нагруженных элементах напряжения σ (деформации e), температуры t , размеры, формы и места возникновения дефектов (трещин) l , которые изменяются во времени τ . Эти параметры оказываются зависящими от условий эксплуатационного нагружения (давления p , механических, тепловых и электромагнитных усилий, скоростей, ускорений), геометрических форм и размеров конструктивных элементов, свойств конструкционных материалов [2, 3, 5, 8, 19].

Так как возникновение и развитие практически всех аварийных ситуаций начинается с повреждений несущих элементов (разрушение, деформирование, разуплотнение, потеря устойчивости), то в процессе диагностирования подлежат обязательному определению максимальные ($\sigma_{\max}, e_{\max}, t_{\max}$) и амплитудные значения (σ_a, e_a, t_a) базовых параметров – напряжений σ , деформаций e , температур t (рис. 16).

Рисунок 16. Потенциальные возможности методов экспериментального определения параметров прочности, ресурса и безопасности в системах диагностики и мониторинга

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РЕСУРСА									
Параметр Методы	Напряжения			Температура			Дефекты		
	Величина σ_a	Циклы N	Время τ	Величина t	Цикл. τ_{II}	Время τ	Размер l	Форма a/l	Место S
УЗД	- +	-	-	-	-	-	+ +	- +	- +
МПД	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Виз. контр.	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Рентген	- +	-	-	-	-	-	- +	- +	- +
Виброметрия	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акуст. контр.	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акуст. эмис.	+ +	-	-	-	-	-	+ +	+ -	+ +
Фотоупругость	+ +	- +	-	- +	-	-	+ +	+ +	+ +
Голография	+ -	+ +	+ -	+ -	-	-	-	- +	+ -
Термовидение	+ -	+ -	+ +	+ +	+ +	+ +	+ -	-	+ -
Томография	-	-	-	-	-	-	+ +	+ +	+ +
Натурн. тенз.	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ -	+ -	+ -
РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ									
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$ - натурная тензометрия									
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$ - термовидение									
$AЭ = f(\sigma_a, e_p, K_{le}, l)$ - акустическая эмиссия									
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$ - голография									

Для измерений в реальном масштабе времени эксплуатации или при проведении регламентных работ с остановкой объектов могут быть использованы (знак «+» на рис. 16) как широко применяемые, так и новые методы и средства диагностики – оптические, физические, механические, электромеханические. К ним можно отнести: внешний визуальный контроль, осмотр, ультразвуковую (УЗД) и магнитно-порошковую (МПД) дефектоскопию, методы проникающих жидкостей

и фотоупругости, тензометрию, виброметрию, термометрию, акустическую эмиссию, термовидение, рентгенографию, томографию, голографию и др. [2, 6, 19]. При этом следует констатировать, что в настоящее время отсутствуют (знак «-» на рис. 16) универсальные методы, позволяющие одновременно вести измерения всех названных выше определяющих параметров – σ , t , l – на различных стадиях жизненного цикла (по времени τ и числу циклов нагружения N).

Так, на рис. 16 знаком плюс (+) отмечены методы, позволяющие с достаточной достоверностью определить соответствующий диагностируемый параметр. Знак минус (–) показывает отсутствие у данного метода такой возможности. При этом сочетание двух плюсов (+ +) соответствует хорошей применимости и достоверности при определении этим методом данного диагностируемого параметра, сочетание минуса и плюса (– +) соответствует пониженной возможности применения, но хорошей информативности, а сочетание плюса и минуса (+ –) показывает возможность использования метода, но с пониженной информативностью. Наибольшими возможностями в рассматриваемом направлении обладают методы натурной тензометрии, термометрии, акустической эмиссии, термовидения и голографии, разрабатываемые и развиваемые на протяжении многих десятилетий.

В общем случае для обеспечения требуемых параметров прочности, ресурса, надежности, живучести, риска и безопасности объектов техносферы можно воспользоваться определенными соотношениями механики деформируемого тела и механики разрушения, провести соответствующие расчеты и получить оценки технического состояния объекта [2, 6, 15–19]. При этом базовыми расчетными параметрами являются именно параметры напряжений, температуры и дефектов, которые и должны в первую очередь определяться с использованием систем диагностики и мониторинга.

Для параметра напряжений важны такие их характеристики, как амплитуда, число циклов нагружения и время, в течение которого реализуются эти амплитуды в циклах. Для параметра температуры важными характеристиками являются абсолютное значение этой температуры, форма

теплового цикла, скорости изменения температуры и времена температурно-временных воздействий и выдержек в эксплуатационных циклах. Для параметра дефектов обязательным является знание размеров, формы и места их расположения.

При постановке задачи многопараметрической диагностики состояния технических систем в первую очередь представляет интерес получение эксплуатационной информации об упомянутых выше параметрах с учетом всех особенностей функционирования рассматриваемых объектов. Для реализации процедур диагностики и мониторинга состояния в процессе эксплуатации объектов могут быть применены те или иные общепринятые методы, которые известны в практике решения подобных задач. Однако если возникает необходимость иметь полный комплекс рассматриваемой эксплуатационной информации, то оказывается, что с использованием отдельных методов далеко не всегда удастся получить весь набор требуемой информации в полном объеме.

Из представленных на рис. 16 данных следует, что не существует суперуниверсального метода, способного решить эту задачу, а если и имеются какие-либо отдельные специализированные разработки, то они, как правило, оказываются очень сложными, дорогостоящими и трудоемкими в применении.

При анализе состояния рассматриваемой технической системы по результатам применения методов диагностики и мониторинга ее опасных объектов следует иметь в виду, что только знание полной информации о комбинации всех требуемых параметров в их непосредственном взаимодействии позволяет провести оценку величины ее поврежденности, а дальнейшее развитие возникших дефектов зависит и от характера уже имеющих место повреждений.

Учет такого взаимодействия диагностируемых параметров состояния объектов очень важен, а получение объективных данных, отражающих такое взаимодействие, возможно лишь при комплексном применении различных методик наблюдения за их состоянием.

Так, например, использование широко известного ультразвукового контроля (см. рис. 16) позволяет получить достаточно полную информацию о размерах дефектов, но информация о месте их расположения и конфигурации оказывается не всегда достаточной для их надежной идентификации. И каждый из проанализированных на рис. 16 методов, включая порошковую дефектоскопию, визуальный контроль, рентгенографию, виброметрию, акустический контроль, акустическую эмиссию, голографию, термовидение, томографию и натурную тензометрию, имеет свой диапазон применения и позволяет непосредственно или по соответствующим расчетным соотношениям получить конкретный объем информации по специфическим для него анализируемым параметрам, включая рассмотренные выше, а также разрушающему числу циклов N_p , номинальной напряженности σ_n , факторам агрессивности окружающей среды Φ , наличию зон пластических деформаций e_p , коэффициентам интенсивности деформаций K_{Ie} .

При этом следует обратить внимание, что метод натурной тензометрии в наибольшей степени обеспечивает комплексность диагностики и мониторинга исследуемой технической системы. В целом ряде случаев в штатных и аварийных ситуациях важную роль приобретает диагностика структурных состояний конструкционных материалов и их химического состава с применением оптической и электронной микроскопии.

Таким образом, решение рассмотренных выше фундаментальных проблем обеспечения условий безопасной эксплуатации объектов техносферы закладывает научные основы концепции создания и развития нового перспективного комплексного подхода к объективной оценке по критериям рисков как состояния существующей инфраструктуры страны, так и проектируемых перспективных инфраструктурных проектов в будущем [1, 2, 6].

С учетом изложенного уже полученные к настоящему времени результаты выполненных фундаментальных исследований показывают необходимость перехода на новые методологические основы и принципы обеспечения и повышения защищенности техногенной и природно-техногенной сфер жизнедеятельности человека и общества в целом от негативных процессов и явлений, понижающие, в конечном счете, стратегические риски государства [1, 2, 6, 21].

Рисунок 17. Многотомное издание «Безопасность России», 40 томов (1998–2012 гг.)



Их снижение по всем направлениям возможно на основе глубоких фундаментальных, поисковых и прикладных исследований опасных процессов, создания новой критериальной базы безопасности, методов, систем парирования угроз и оптимизации рисков.

В соответствии с рекомендациями Совета Безопасности Российской Федерации Российской академией наук, МЧС России и Международным фондом «Знание»

с 1998 по 2013 год в России было подготовлено и выпущено в свет 40 томов уникального издания серии «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» [1], содержащих результаты соответствующих исследований, выполненных большим коллективом организаций, специалистов и ученых по широкому кругу фундаментальных проблем обеспечения безопасности и анализа рисков (рис. 17).

Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: многотомное издание. – М.: МГОФ «Знание», 1998–2013. – Т. 1–40.
2. Махутов, Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования / Н.А. Махутов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 523 с.
3. Махутов, Н.А. Техногенная безопасность: диагностика и мониторинг состояния потенциально опасного оборудования и рисков его эксплуатации / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин // Федеральный справочник: информационно-аналитическое издание. – М.: НП «Центр стратегического партнерства», 2012. – Т. 26. – С. 307-314.
4. Махутов, Н.А. Методы анализа безопасности в проблемах мониторинга рисков / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин // Оценка и управление индустриальными рисками и промышленной безопасности: труды школы-семинара, Москва, 26-28 октября 2011 г. – Санкт-Петербург: СВЕН, 2012. – С. 4-10.
5. Гаденин, М.М. Структура многоуровневого мониторинга параметров безопасности техносферы и окружающей среды / М.М. Гаденин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2012. – №1. – С. 93-102.
6. Махутов, Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность: в 2-х ч. / Н.А. Махутов. – Новосибирск: Наука, 2005. – Ч. 1: Критерии прочности и ресурса. – 494 с.; Ч. 2: Обоснование ресурса и безопасности. – 610 с.
7. Анализ рисков отказов при функционировании потенциально опасных объектов / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин, А.О. Чернявский, М.М. Шатов // Проблемы анализа риска. – 2012. – Т. 9. – №3. – С. 8-21.
8. Гаденин, М.М. Многопараметрический анализ условий безопасной эксплуатации и защищенности машин и конструкций по критериям прочности, ресурса и живучести / М.М. Гаденин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2012. – №6. – С. 22-36.
9. ГНТП «Безопасность». Концепция и итоги работы 1991–1992 гг. Итоги науки и техники: в 2-х т. / Н.А. Махутов, Е.В. Грацианский, М.М. Гаденин и др. – М.: ВИНТИ, 1993. – Т. 1. – 350 с.; Т. 2. – 480 с.
10. Махутов, Н.А. Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технологического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков / Н.А. Махутов, Б.Н. Кузык, Н.В. Абросимов. – М.: ИНЭС, 2011. – 136 с.
11. Атлас природных и техногенных опасностей в Российской Федерации / под общ. ред. С.К. Шойгу. – М.: ИЦП «Дизайн. Информация. Картография», 2005. – 270 с.
12. Природные опасности России / под общ. ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2000–2003. – Т. 1–6.
13. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: утв. Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 года №537.
14. Об основах стратегического планирования в Российской Федерации: утв. Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 года №536.

15. Гаденин, М.М. Характеристики механических свойств материалов в анализе условий достижения предельных состояний / М.М. Гаденин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – №2. – С. 58-63.
16. Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов: серия монографий из 9 томов / под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина. – М.: Наука, 1987–2009.
17. Исследования прочности при малоцикловом нагружении: серия из 8 книг / под ред. С.В. Серенсена, Н.А. Махутова, М.М. Гаденина. – М.: Наука, 1975–2006.
18. Прочность и ресурс ЖРД / Н.А. Махутов, В.С. Рачук, М.М. Гаденин и др. – М.: Наука, 2011. – 525 с. (Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей).
19. Махутов, Н.А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности: учеб. пос. / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин; под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 187 с. (серия «Диагностика безопасности»).
20. Надежность. Риск. Качество / Л.А. Сосновский, Н.А. Махутов, М.М. Гаденин и др.; Министерство образования Республики Беларусь–Белорусский государственный университет транспорта. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 358 с.
21. Махутов, Н.А. Анализ стратегических рисков функционирования гидроэнергетических и транспортных систем / Н.А. Махутов // Вестник Совета Безопасности Российской Федерации. – 2012. – №4(22). – Октябрь. – С. 138-141.