

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

### БЕЗОПАСНОСТЬ И РИСКИ СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Чл.-корр. РАН Махутов Н.А.<sup>1</sup>, к.т.н. Гаденин М.М.<sup>1</sup> (Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН)

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются общие проблемы обеспечения техногенной безопасности энергооборудования. Показано, что основой решения этих проблем являются результаты фундаментальных исследований по механике деформирования и разрушения и по механике катастроф, лежащие в основе создания критериев и методов решения комплексных задач прочности, ресурса, живучести, риска, безопасности и защищенности энергооборудования с повышенной потенциальной опасностью возникновения техногенных аварийных ситуаций, которые используются при разработке расчетных инженерных методик, алгоритмов, программ, моделей и стендов для обоснования конструкторско-технологических решений при проектировании, создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации действующих и принципиально новых высокорисковых энергетических объектов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стратегически важные объекты энергетики, техногенная безопасность, прочность, ресурс, живучесть, риск, защищенность.

Федеральные законы «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и «О техническом регулировании» предусматривают вывод на государственный уровень решение проблем безопасности через систему декларирования безопасности и государственных регламентов. Научно-методические вопросы эксплуатации сложных энергетических систем (ядерные реакторы, теплоэнергоустановки, гидротурбины) в пределах их срока службы требуют введения новых критериев оценки исходной и остаточной прочности, ресурса и живучести, которые характеризуют переход этих систем к предельному состоянию, угрожающему объектам, персоналу, населению и окружающей среде, что должно рассматриваться, как неприемлемое и недопустимое. При этом в качестве одной из важнейших становится проблема циклической прочности несущих элементов рассматриваемого оборудования, в том числе в чрезвычайно широком диапазоне чисел циклов нагружения – от  $10^0$  до  $10^{12}$  и более.

В число базовых проблем обеспечения циклической прочности энергооборудования для всех стадий его жизненного цикла входят три главных:

- расчетно-экспериментальный анализ напряженно-деформированных состояний ( $\sigma$ ,  $\epsilon$ ) с учетом механических  $P^3$ , термических  $Q_t^3$ , аэрогидродинамических  $Q_{ah}^3$ , электромагнитных воздействий  $Q_{em}^3$ . При этом локальные напряжения  $\sigma_{\max}^3$  и деформации  $\epsilon_{\max}^3$  зависят от эксплуатационного числа циклов нагружения  $N^3$ , времени  $\tau^3$  и температуры  $t^3$

$$\{\sigma_{\max}^3, \epsilon_{\max}^3\} = F_3 \{P^3, Q_t^3, Q_{ah}^3, Q_{em}^3, P_v^3, N^3, \tau^3, t^3\}; \quad (1)$$

- анализ закономерностей циклического упругого и упругопластического деформирования для варьируемых частот  $f_t^u$ , амплитуд напряжений  $\sigma_a^u$  и деформаций  $e_a^u$ , температур  $t_u^u$  и времени  $\tau^u$

$$\{\sigma_{\max}^u, e_{\max}^u\} = F_{1u} \{f_t^u, (\sigma_a^u, e_a^u), t_u^u, \tau^u\}; \quad (2)$$

- анализ критериев и условий накопления повреждений  $d^u$ , а также циклической долговечности  $N_c^u$  для стадий образования и развития трещин

$$\{d^u, N_c^u\} = F_{2u} \{f_t^u, (\sigma_a^u, e_a^u), t_u^u, \tau^u\} \quad (3)$$

Результаты экспериментальных и расчетных исследований на образцах, моделях и натуральных конструкциях энергооборудования дают возможность определить запасы по напряжениям  $n_\sigma$ , деформациям  $n_\epsilon$ , числу циклов  $n_N$ , времени  $n_\tau$  и размеру трещин  $n_l$

$$\{n_\sigma, n_\epsilon, n_N, n_\tau, n_l\} = \left\{ \frac{\sigma_c}{\sigma_{\max}^3}, \frac{e_c}{e_{\max}^3}, \frac{N_c}{N^3}, \frac{\tau_c}{\tau^3}, \frac{l_c}{l^3} \right\}, \quad (4)$$

где индекс «с» относится к критической (предельной) величине соответствующей характеристики прочности, долговечности и трещиностойкости, а индекс «э» – к соответствующим величинам при эксплуатации.

На рис. 1 показана комплексная блок-схема решения проблем обеспечения прочности и безопасности таких потенциально опасных энергетических объектов, как атомные электростанции (АЭС), тепловые электростанции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), специальные энергоустановки (СЭ). Эти проблемы охватывают все ста-

<sup>1</sup> 101909, г. Москва, М. Харитоньевский пер., 4, ИМАШ РАН; (499) 135-77-71

дии жизненного цикла объектов: проектирование, изготовление, испытания и эксплуатацию. Проектирование включает в себя разработку и согласование технического задания (ТЗ) с введением базовых требований по прочности, ресурсу и безопасности. Сама разработка проекта состоит из ряда стадий (принципиальные схемы, пред-эскизный, технический и рабочий проекты). На этой стадии с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР) разрабатываются физические и математические модели. На стадии проектирования проводится анализ прочности на основании нормативных и дополнительных расчетов и обосновывается исходный ресурс. Основными критериями и характеристиками таких расчетов являются: эксплуатационные нагрузки  $P$ , температуры  $T(t)$ , число циклов  $N$ , частоты  $f$ , характеристики сопротивления материалов  $R(\sigma_T, \sigma_B, \sigma_{\Delta П})$ , деформации  $e$ , дефекты  $l$ . В качестве допустимых с использованием соотношений (1) – (4) обосновываются характеристики  $[N]$ ,  $[P]$ ,  $[l]$  с заданными величинами запасов  $n$ . По комплексу расчетных и эксплуатационных исследований составляется заключение о прочности, долговечности, ресурсе, живучести и безопасности рассматриваемых объектов.

На стадии изготовления решаются вопросы выбора, обоснования и развития технологий материалов и контроля. Для изготовленных элементов, систем и объектов в целом устанавливаются исходные состояния: фактические механические свойства и их отклонения от технических требований, уровень реальной дефектности несущих узлов, геометрические формы и их отклонения. Уточненные данные контроля заносятся в паспорта и в банки данных. Все эти характеристики являются исходной информацией о параметрах прочности  $R_m(\sigma_B)$ ,  $R_f(S_{oT})$ , деформативности  $A$  (удлинений),  $Z$

(сужений), деформациях  $e$ , температуре  $t$ , скорости роста трещин  $dl/dN$  (или  $dl/d\tau$ ). На их основе проводится уточнение проектных характеристик прочности, долговечности, ресурса, живучести и безопасности.

Стадия испытаний включает различные их виды и комбинации: автономные испытания (АИ) узлов, стендовые испытания узлов, агрегатов и изделий, огневые и имитационные испытания. Завершающими оказываются штатные испытания головных образцов с воспроизведением реальных эксплуатационных и экстремальных режимов.

С использованием тех же критериев, что и для стадий проектирования и изготовления, проводится дополнительное уточнение допустимых предельных нагрузок  $[P]$  и долговечности  $[N]$ . На этой основе составляется заключение о ресурсе, методах последующего контроля, назначаются уточненные режимы эксплуатации.

Для стадии ввода в эксплуатацию осуществляются предпусковые и пусковые испытания (холодная и горячая обкатка), физический пуск (с корректировкой всех систем поддержания эксплуатации) и ввод в эксплуатацию. При этом назначается и уточняется система штатной диагностики основных параметров: нагрузок  $P$ , температур  $T$ , циклов  $N$ , частот  $f$ , дефектов  $l$  (с использованием преимущественно штатных систем ультразвуковой диагностики УЗД). Для объектов высокой потенциальной опасности разрабатываются, создаются и применяются методы и системы оперативной диагностики аварийных ситуаций – с использованием тензо-, термометрии, акустической эмиссии (АЭ), термовидения (ТВ), импульсной голографии (ИМГОЛ). Получаемые при этом данные могут давать исходную информацию для включения систем автоматической защиты (САЗ) и систем автоматической оперативной защиты (CAOЗ).

На начальной стадии эксплуатации должна быть получена важная информация по подтверждению или корректировке проектных решений о прочности, долговечности, ресурсе, живучести и безопасности. По мере исчерпания уточненного проектного ресурса проводится оценка остаточного ресурса безопасной эксплуатации. Для согласования всей информации для всех стадий жизненного цикла объекта должны использоваться унифицированные критерии и расчетные программы. При этом данные о ресурсе могут выводиться на блочные щиты управления (БЩУ) и бортовые счетчики ресурса (БСР) –  $n_i/N$ . Применительно к стадии эксплуатации важным научно-техническим и экономическим вопросом становится также во-

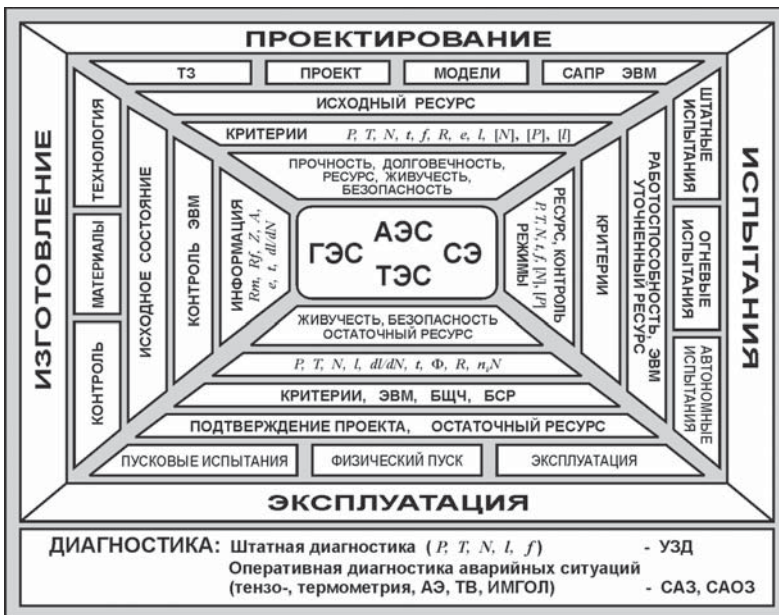


Рис. 1. Блок-схема анализа прочности, живучести и безопасности энергооборудования

прос о безопасном выводе объектов из эксплуатации (особенно в случаях накопленных остаточных радиоактивных излучений  $\Phi$ , химических воздействий, рабочих и аварийных воздействий на объекты, персонал и окружающую среду).

Исключительно важное значение как для нашей страны, так и для других промышленно развитых стран имеет достигнутый уровень проектного обоснования безопасности потенциально опасных объектов, в том числе по критериям прочности и ресурса. Из данных о вероятностях и рисках техногенных аварий и катастроф на объектах с исключительно высокой потенциальной опасностью следует, что различие в уровнях требуемых и приемлемых (в национальных и международных рамках) рисков, с одной стороны, и уровнем реализованных рисков, с другой, достигает двух и более порядков. Сказанное выше потребовало постановки на национальном и международном уровнях вопроса о необходимости разработки новых фундаментальных и прикладных научных направлений:

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

По уровню потенциальной опасности, по требованиям законодательства и с учетом риска возникновения аварий и катастроф объекты техносферы в целом, и энергетики, в частности, могут быть разделены (рис. 2) на четыре основные группы, 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.

Необходимость введения четвертой категории объектов (СВО) обусловлена анализом самых тяжелых катастроф в нашей стране и за рубежом, к которым относятся катастрофы на атомных электростанциях (Чернобыльская АЭС – СССР; ТМА АЭС – США), на атомных подводных лодках (АПЛ «Комсомолец», «Курск» – СССР, Россия; «Трешер» – США), на железнодорожном транспорте (под Уфой, Арзамасом, Екатеринбургом), на объектах сжиженного природного газа (СПГ), на уникальных строительных объектах (США). Для нашей страны характерным примером такой тяжелой катастрофы стала крупнейшая авария на Саяно-Шушенской ГЭС 17.08.2009 г.

Система государственного надзора за безопасностью на большом числе СВО, КВО, ОПО и ОТР охватывает широкий спектр технологий, сценариев катастроф, видов повреждений, условий нагружения, методов диагностики и контроля. В настоящее время в наибольшей степени проявляется актуальность анализа рисков тяжелых катастроф для стратегически важных объектов (СВО), к которым, безусловно, относятся АЭС и крупнейшие ГЭС, каскады ГЭС и их гидросооружения.

Углубленный анализ крупнейших техногенных и природно-техногенных катастроф последних лет и, особенно, разрушения на Саяно-Шушенской ГЭС показывает недостаточность применяемых научных, инженерных, технологических, нормативных, надзорных и правовых решений в области безопасности и защищенности СВО.

В число решенных в рассматриваемом направлении и решаемых проблем включена и исторически сложившаяся последовательность формирования фундаментальных научных основ, разработки инженерных методов расчетов и испытаний, создания норм и правил проектирования и изготовления объектов техносферы (ОТР, ОПО, КВО, СВО), обеспечения их функционирования в заданных пределах проектных режимов и параметров. Базовыми поэтапно повышающимися требованиями

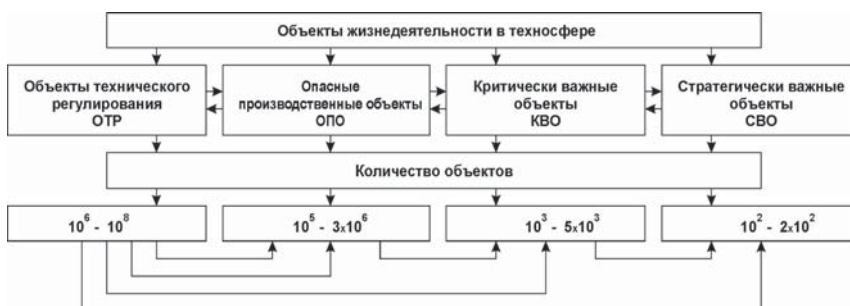


Рис. 2. Структурная схема анализа потенциально опасных объектов



к штатному (нормальному) функционированию и проектным параметрам функционирования для стратегически важных объектов техносферы на всех стадиях их жизненного цикла в начале XXI века стали «прочность → жесткость → устойчивость → ресурс → надежность → живучесть → безопасность → риск → защищенность».

При этом в самом общем виде приняты следующие определения:

$R_{\sigma}$  – прочность, определяемая сопротивлением разрушению несущих элементов СВО при штатных и аварийных воздействиях;

$R_{\lambda}$  – устойчивость, определяемая сопротивлением потери начальной формы  $\lambda$  несущих элементов СВО при действии штатных или аварийных нагрузок;

$R_{\delta}$  – жесткость, определяемая сопротивлением несущих элементов СВО достижению недопустимых деформаций  $\delta$  при действии штатных или аварийных нагрузок;

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

$P_{PR}$  – надежность, определяемая способностью СВО выполнять заданные функции штатном или поврежденном состоянии при заданных нагрузках  $P$  или ресурсе  $R_{N\tau}$ ;

$L_{ld}$  – живучесть, определяемая способностью СВО выполнять свои функции в ограниченном объеме при  $d$  недопустимых нормах повреждениях размерах дефектов  $l$ ;

$S$  – безопасность, определяемая способностью СВО не переходить в катастрофическое состояние с нанесением значительных ущербов человеку, техносфере и природной среде;

$R$  – риск, определяемый вероятностью возникновения на СВО неблагоприятных ситуаций и ущербами от этих ситуаций в штатных и нештатных условиях;

$Z_c$  – защищенность, определяемая способностью СВО противостоять возникновению и развитию неблагоприятных ситуаций в штатных и нештатных условиях.

Указанные выше параметры работоспособности являются функциями времени  $t$ . Последний из них  $Z_c(t)$  наиболее важен для СВО.

По различным критериям (рис. 3) на основе использования традиционных требований и параметров по рис. 4 можно построить зоны обеспеченности и необеспеченности работоспособности объектов энергооборудования.

На представленной диаграмме выделены годы и основные этапы развития (I-VIII), базовые требования, основные практические результаты и направления взаимодействия. Из рис. 3 видно, что каждый выше расположенный элемент опирается на нижние элементы, как на основу. Это означает, в конечном счете, что решение проблем защищенности, риска и безопасности должно обязательно опираться на решение проблем «живучести → надежности → ресурса → жесткости → устойчивости → прочности» с прохождением через традиционные этапы их взаимодействия «I → VIII».

Фундаментальные результаты определения и обеспечения прочности (этап I) были получены в течение длительного времени к началу XIX века, а замкнутый анализ жесткости и устойчивости (этап II) завершился к его концу. В XX веке сформировались теория и практика обеспечения «ресурса → надежности → живучести» (этапы III, IV, V). В конце прошлого века была поставлена фундаментальная проблема анализа и обеспечения безопасности и риска (этап VI) для всех потенциально опасных объектов гражданского и оборонного назначения с переходом (VII этап) на управление безопасностью по критериям рисков. На этих этапах требование безопасности было сформулировано как определяющее, что потребовало развития нового направления «VII → I» как основного для будущего развития техносферы. В начале этого века (2003 г) Советом Безопасности Российской Федерации была поставлена новая задача (этап VIII) обеспечения защищенности критически и стратегически важных объектов от аварий и катастроф техногенного, природного характера



Рис. 3. Общая структура обеспечения работоспособности стратегически важных объектов энергетики

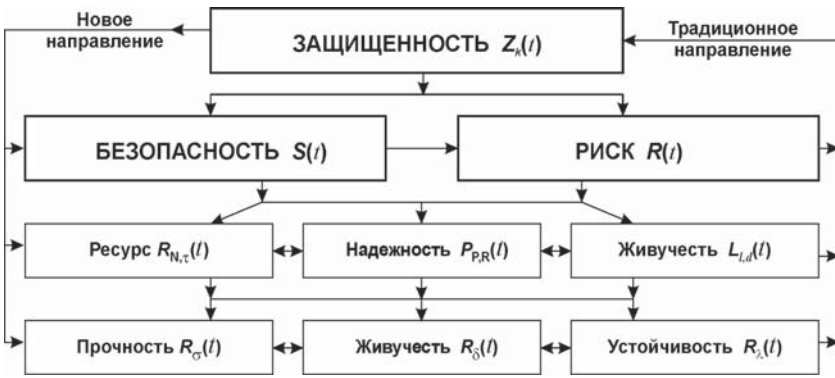


Рис. 4. Традиционный и новый алгоритмы определения и обеспечения защищенности СВО

и террористических проявлений. Актуальность такой постановки возросла после катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году.

В соответствии с изложенным и рис. 3 базовый, характеризующий защищенность СВО функционал, включающий в себя основные параметры прочности, ресурса, живучести, безопасности и рисков, может быть представлен в виде

$$Z_c(t) = F_z \{R(t), S(t), L_{ld}(t), P_{PR}(t), R_{N\tau}(t), R_\sigma(t)\}. \quad (5)$$

Основным направлением анализа и обеспечения защищенности КВО и СВО от неблагоприятных ситуаций с учетом выражения (5) является реализация основных требований к их работоспособности в штатных, аварийных и катастрофических ситуациях (рис. 4).

Новым направлением обеспечения защищенности СВО от неблагоприятных ситуаций является то, которое изначально формирует уровень защищенности  $Z_c(t)$ . Этот уровень определяет все основные группы требований:

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

В рамках традиционного направления изна-

чально обеспечиваются группы требований по цепочке: прочности → жесткости → устойчивости; ресурса → надежности → живучести; безопасности → рисков. Каждому из традиционных «I → VIII» и новых «VIII → I» этапов соответствовал свой практический результат в исследованиях, проектировании, создании и эксплуатации объектов техносферы, включая СВО, «неразрушаемость → сохранение размеров и формы → долговечность → отказоустойчивость → трещиностойкость → безопасность →

приемлемые риски → защищенность от отказов, аварий и катастроф». Указанная последовательность неблагоприятных событий, приводящих к катастрофе на СВО, может иметь различный вид (рис. 5), характеризуемый увеличением во времени  $t$  рисков  $R(t)$ .

Наличие потенциальной опасности в СВО не всегда сопровождается ее негативным воздействием на наиболее важные 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  $Z_c(t)$ . В последнем случае должны применяться новые требования, критерии и методы повышения защищенности до заданного уровня.

При построении алгоритма анализа рисков  $R(t)$ , неблагоприятных событий и базовых параметров КВО и СВО учитываются следующие положения. Фаза инициирования повреждений, отказов, разрушений, аварий, катастроф и соответствующих им рисков  $R(t)$  может представлять собой во времени  $t$  как краткосрочный, так и длительный процесс, включающий в себя различные этапы отклонений от заданных режимов эксплуатации, накопления механических повреждений оборудования, отказов, а также нарушения кон-



Рис. 5. Алгоритм анализа опасных состояний СВО и соответствующих рисков

троля за качеством и состоянием оборудования и персонала КВО и СВО. Первая фаза накопления повреждений  $d$ , отказов и частичных разрушений  $l$  с развитием трещин заканчивается возникновением на КВО и СВО аварийной ситуации, которая может быть связана с начавшимися каскадными разрушениями и необратимыми отклонениями от условий нормальной эксплуатации. Катастрофа на КВО и СВО с образованием критических дефектов  $l_c$  является заключительной стадией развития неблагоприятных ситуаций и характеризуется самыми высокими неприемлемыми рисками  $R(t) = R_c(t)$ . По такому пути (традиционное направление) шло развитие самой техносферы и методов обеспечения работоспособности всех основных ее объектов.

На базе фундаментальных и прикладных исследований последних трех десятилетий по проблемам безопасности природно-техногенно-социальной сферы поставлена новая задача об определении и обеспечении комплексной безопасности и защищенности критически важных объектов техносферы по критериям приемлемых и управляемых рисков. При такой постановке задачи только безопасность и защищенность с заданными уровнями рисков дают основание к принятию (или непринятию) решений о допустимости реализации новых проектов или допустимости эксплуатации действующих критически и стратегически важных объектов инфраструктуры.

В общем случае для ОТР, ОПО, КВО и СВО характерны три сценария (разновидности) кинетики рисков  $R(t)$  во времени (рис. 6): 1 – сценарии монотонного возрастания рисков  $R(t)$  до критических значений  $R_c(t)$ ; 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. Сценарии 1 относятся к большому (основному) числу ОТР, сценарии 2 – к сложным потенциально опасным ОПО, сценарии 3 – к наиболее опасным, критически

(КВО) и стратегически (СВО) важным объектам.

С учетом анализа затронутых выше общих проблем техногенной безопасности, направлений и перспектив развития различных типов энергооборудования и энергосистем в целом, обеспечение должного уровня их прочности и безопасности становится одним из актуальных направлений научно-технологического развития по мере роста их рабочих параметров и повышения потенциальной опасности систем «человек-машина-среда». При этом основными задачами дальнейших разработок в этом направлении являются:

- фундаментальные исследования по механике деформирования и по механике катастроф, лежащих в основе создания критериев и методов решения комплексных проблем прочности, ресурса, живучести и безопасности энергооборудования с повышенной потенциальной опасностью техногенных аварийных ситуаций;

- прикладные исследования и разработки инженерных методик, алгоритмов, программ, моделей, стендов, аппаратуры для расчетно-экспериментального обоснования конструкторско-технологических решений при проектировании, создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации действующих и принципиально новых высокорисковых объектов энергетики с применением комплексных критериев прочности, ресурса, живучести и безопасности.

Таким образом, введение в действие Федеральных законов о техническом регулировании ОТР, промышленной безопасности ОПО, безопасности атомной энергетики, гидротехнических сооружений и решений о защищенности КВО и СВО предусматривает повышение роли фундаментальных и прикладных исследований прочности, ресурса, живучести для обеспечения комплексной безопасности. Такая трактовка будет получать свое прикладное отражение как в технических регламентах, так и в национальных стандартах и стандартах организаций. Из сказанного следует, что разработка алгоритмов анализа защищенности  $Z_k(t)$  СВО является важнейшим элементом комплексных

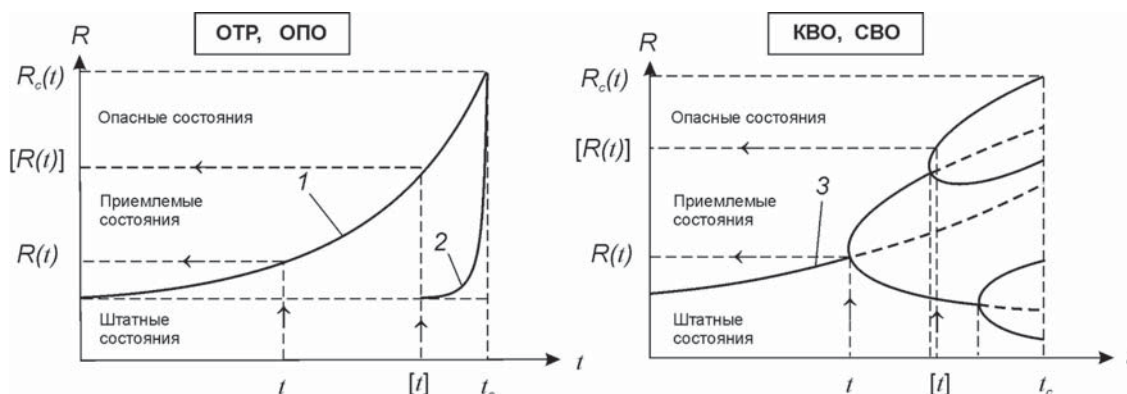


Рис. 6. Диаграммы изменения рисков при изменении воздействий системы и их реакций

научных исследований безопасности  $S(\tau)$  и рисков  $R(\tau)$ . Принятие решений об уровне защищенности СВО должно осуществляться по критериям приемлемых рисков  $[R(\tau)]$ . Уровни формирующихся  $R(\tau)$  и приемлемых  $[R(\tau)]$  рисков, в свою очередь, определяют достижимый уровень защищенности  $Z_{\kappa}(\tau)$  при строго рассчитываемых и нормируемых необходимых затратах  $Z(\tau)$ . Такой подход, основанный на выражении (5), распространяется на обеспечение безопасности и защищенности всего спектра энергооборудования (ОТР, ОПО, КВО и СВО) на объектовом, отраслевом, региональном и федеральном уровнях. В его разработке и реализации должны быть скоординировано задействованы ведущие академические институты, отраслевые НИИ и КБ, промышленные предприятия, руководство отраслей, субъектов федерации и государства.

### Литература

1. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утверждена Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 года, №537.
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. – М.: МГОФ «Знание», 1998 – 2008. Т.т. 1 – 33.
3. Атлас природных и техногенных опасностей в Российской Федерации. – М.: ИЦП «Дизайн. Информация. Картография», 2005. – 270 с.
4. Россия в борьбе с катастрофами. – М.: «Деловой экспресс», 2007. Т.т. 1 – 3.
5. Энциклопедия «Гражданская защита». Под ред. С.К.Шойгу. М.: «Деловой экспресс», 2006 – 2008. Т.т. 1 – 4.
6. Материалы государств-участников СНГ в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. – М.: ФГУ ВНИИГОЧС, 2000-2005, т.т. 1-4.
7. Проблемы анализа риска. Научный журнал. М.: «Деловой экспресс», 2005 – 2009.
8. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. Научно-технический журнал. М.: ВИНТИ, 2005 – 2009.
9. Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы. – М.: 2008. – 371 с. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 года № 233-р.
10. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года. – М.: «Наука», 2007. – 152 с. Утвержден распоряжением Президиума РАН №10103-948 от 08.11.2005 г.
11. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск: «Наука», 2008. – 523 с.
12. Стратегические риски России: оценка и прогноз. Под общей ред. Ю.Л. Воробьева: - М.: «Деловой экспресс», 2005. – 392 с.
13. Проблемы национальной безопасности. Экспертные заключения, аналитические материалы, предложения. Под общей ред. Н.П. Лаврова: – М.: «Наука», 2008. – 459 с.
14. Махутов Н.А. и др. Система оценки рисков при техническом регулировании. - М.: Изд. ОВЛ, 2006. – 96 с.
15. Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов. Серия монографий из 9 томов. Под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина. М.: Наука, 1987 – 2009.

