

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (ВИНИТИ)

## ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Научный информационный сборник

Издается с 1990 г.

№ 5

Москва 2012

Сборник включен в Перечень ведущих научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, публикующих статьи по материалам выполняемых научных исследований, в т.ч. на соискание ученой степени кандидатов и докторов наук.

Полнотекстовую электронную версию с отставанием на один год можно посмотреть на сайте ВИНТИ РАН <http://www.viniti.ru>

Библиографии, аннотации и ключевые слова на русском и английском языках размещены на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Махутову Николаю Андреевичу – 75 лет!

#### Основы национальной политики в области безопасности

*Тимакова В.В.* Основные подходы к формированию государственной политики в области безопасности дорожного движения в зарубежных странах ..... 8

#### Научно-теоретические и инженерно-технические разработки

*Махутов Н.А., Резников Д.О.* Анализ и обеспечение защищенности объектов критических с учетом рисков и предельных состояний ..... 14

*Фирсов А.В., Харисов Г.Х.* Обоснование расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности ..... 36

*Большов Л.А., Кочнев С.И., Сегаль М.Д., Семенов В.Н.* Возможный способ управления тяжелой аварией с выходом водорода на АЭС с реактором ВВЭР ..... 48

*Махутов Н.А. Ахметханов Р.С.* Системный подход к оценке и управлению рисками ..... 56

*Плотников Н.И.* Ресурсное проектирование информационного пространства сложных объектов ..... 69

*Петров М.Н., Орленко А.И., Терезулов О.А., Лукьянов Э.В.* Анализ вероятности безотказной работы электровозов на Красноярской железной дороге ..... 77

*Гончаревич И.Ф., Гудушаури Э.Г.* Виброметоды в нанотехнологиях ..... 83

#### Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций

*Киселева С.П.* Концептуальный подход к пониманию экологической безопасности в условиях нарастающих угроз и рисков ..... 87

*Шаймарданов Л.Г., Бойко О.Г., Утенков П.Г.* Методологический подход к анализу рисков в гражданской авиации ..... 97

*Евин И.А., Хабибуллин Т.Ф., Чернобровкин Д.А.* Взаимозависимые сложные сети и безопасность общественного транспорта ..... 101

## Статистические данные о чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом

*Поленов Б.В.* Уроки радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» ..... 109

## Информационная безопасность

*Блудчий Н.П.* О многолетнем опыте организации научно-технических конференций по проблемам безопасности ..... 124

## CONTENS

### *Makhutov N.F.* - 75 years

*Timakova V.* The basic approaches to formation of a state policy in the field of safety of traffic in foreign countries ..... 8

*Makhutov N.A., Reznikov D.O.* Analysis and ensuring protection of critical infrastructures taking into account risks and limit states ..... 14

*Firsov A.V., Harisov G.H.* Calculation of an individual fire risk in buildings, structures and constructions of various classes of functional fire hazard ..... 36

*Bolshov L.A., Kochnev S.I., Segal M.D., Semenov V.N.* The possible method of severe accident with hydrogen released management at nuclear power plant with WWER reactor ..... 48

*Makhutov N.A., Akhmetkhanov R.S.* A systematic approach to risk evaluation and management ..... 56

*Plotnikov N.I.* Durability design of information space of complex objects ..... 69

*Petrov M.N., Orlenko A.I., Teregulov O.A., Lukyanov E.V.* The analysis of probability of no-failure operation of electric locomotives on krasnoyarsk railway ..... 77

*Goncharevich I.F., Goudoushauri E.G.* Vibration methods in nanotechnologies ..... 83

*Kiseleva S.P.* Conceptual approach to understanding of ecological safety in the conditions of accruing threats and risks ..... 87

*Shaimardanov L.G., Boyko O.G., Utenkov P.G.* Methodological approach to risk analysis in civil aviation ..... 97

*Yevin I., Khabibullin T., Chernobovkin D.* Complex interdependent networks and robustness of public transportation systems ..... 101

*Polenov B.V.* Lessons of the radiation accident on the NPP FUKUSHIMA 1 ..... 109

*Bludchiy N.P.* About multi year experience of organization of scientific-technical conferences on security problems ..... 124

Научный редактор – заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАТ,  
доктор технических наук, профессор Резер С.М.

Выпускающий редактор: Тимошенко З.В.

**Адрес редакции:** ВИНТИ: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20.

Тел.: (499) 155-44-26

Факс: (495) 943-00-60, **E-mail:** [tranbez@viniti.ru](mailto:tranbez@viniti.ru)

Адрес сайта: [www2.viniti.ru](http://www2.viniti.ru)

**Отдел подписки:** Тел: (499) 155-45-25

## ***Уважаемые читатели!***

Главному редактору научного информационного сборника  
«Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций»

Члену-корреспонденту Российской академии наук

**Махутову Николаю Андреевичу – 75 лет!**



Николай Андреевич МАХУТОВ родился 29 сентября 1937 года в с. Брасово Брасовского района Брянской области. В 1954 году поступил в Московский авиационный технологический институт на авиамеханический факультет, в 1959 году с отличием окончил МАТИ по специальности «Авиационные двигатели». С 1964 года по настоящее время работает в Институте машиноведения АН СССР. В 1964 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Сопротивление повторным пластическим деформациям и хрупкому разрушению корпусной стали», в 1974 году - докторскую диссертацию на тему «Деформационные критерии малоциклового и хрупкого разрушения». С 1978 года – профессор по специальности «Динамика и прочность машин и конструкций».

В 1987 году избран членом-корреспондентом АН СССР по специальности «Машиностроение» Отделения «Механики, машиностроения и процессов управления». Состоит в Отделении энергетики, машиностроения, механики и процессов управления; заместитель Академика-секретаря Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления.

С 1991 года – главный редактор научного информационного сборника «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций».

С 1992 года – заместитель председателя, а с 2008 года - председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности.

Научные исследования Н.А. Махутова относятся к проблемам конструкционной прочности, техногенной безопасности, нелинейной механике разрушения, деформационным критериям разрушения, малоциклового и многоциклового усталости, надежности, остаточному ресурсу в условиях штатных, аварийных и катастрофических ситуаций в сложных технических системах.

Ведущий специалист в области прочности, ресурса и безопасности машин и конструкций; разработчик закономерностей и критериев механики деформирования и разрушения, нормативно-технических документов по определению характеристик напряженно-деформированных и предельных состояний при штатных и аварийных ситуациях применительно к объектам ядерной энергетики, ракетно-космической и авиационной техники, нефтехимическим сосудам и трубопроводам, уникальным инженерным сооружениям и объектам техники Севера.

Результаты этих фундаментальных исследований реализуются при решении практических задач прочности и ресурса, безопасности и защищенности уникальных, критически и стратегически важных объектов. В их число входят атомные реакторы типов от ВВЭР-210 до ВВЭР-1000, БН-600 и РБМК-1000 для АЭС в России и в других странах, паровые турбины мощностью 250-1200 МВт, гидротурбины, термоядерные установки Т-14, Т-15, ИТЭР, а также ракетно-космические системы «Энергия-Буран», «Протон», «Союз», «МАКС», летательные аппараты типов Ту, Су, МиГ, магистральные нефте-, газо-, продуктопроводы, объекты оборонного комплекса.

Н.А. Махутов как член и председатель Государственных комиссий и подкомиссий принимал участие в анализе крупных аварий и катастроф, в том числе на технологическом прессовом оборудовании с предельными усилиями 20 тыс. тонн, на крупнейшем турбогенераторе мощностью 1200 МВт, на атомной турбине мощностью 220 МВт, на магистральных трубопроводах под Уфой и Арзамасом, на шахтных вентиляторах Братского алюминиевого завода, на транспортной эстакаде Волгоградской ГЭС, на ядерных паропроизводящих установках, на парогенераторах реакторов ВВЭР-1000, на Чернобыльской АЭС, на двигателях ракетно-космических систем, на гидроагрегатах Саяно-Шушенской ГЭС. Эксперт и исполнитель международных проектов (США, Норвегия, Япония) по проблемам защиты от аварий и катастроф.

Н.А. Махутов автор более 700 научных трудов, среди них около 30 монографий, справочных пособий, курсов лекций, энциклопедий. Работы Н.А. Махутова, его коллег и учеников обобщены во многих монографиях - двухтомнике «Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность», «Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность», «Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов», серии из шести книг «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов», серии из семи книг «Прочность при малоцикловом разрушении», четырехтомной энциклопедии и энциклопедическом словаре «Гражданская защита».

Н.А. Махутов научный руководитель многотомного издания «Безопасность России», автор и редактор томов и разделов тридцати четырех вышедших в этой серии книг.

Под научным руководством Н.А. Махутова подготовлено более 60 кандидатов и докторов наук для научных организаций России, СССР, СНГ.

Н.А. Махутов руководитель комплекса проектов по безопасности и защищенности критически и стратегически важных объектов инфраструктуры в рамках Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации». В 1992 - 2001 гг. один из организаторов и научных руководителей Государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф», научный руководитель Комплексной научно-технической программы «Безопасность Москвы», разработки «Концепции безопасности Москвы».

Н.А. Махутов является Председателем Научного совета при Межгосударственном совете по чрезвычайным ситуациям стран СНГ, Председателем научного совета Российского общества анализа риска, членом «Общественного совета при Федеральной

службе по экологическому, технологическому и атомному надзору», членом Экспертного научно-технического совета МЧС России.

С 1992 г. по настоящее время Н.А. Махутов является Председателем Международного Союза бывших малолетних узников фашизма (МСБМУ), объединяющего в своих рядах около 500 тысяч бывших малолетних узников фашистских концлагерей из Армении, Беларуси, Казахстана, Латвии, Литвы, Молдовы, России, Узбекистана, Украины, Эстонии, Болгарии.

Член-корреспондент РАН Н.А. Махутов Лауреат Премии Совета Министров СССР «За разработку и внедрение научных основ расчета повышения прочности энергооборудования по критериям трещиностойкости» (1983 г.); Лауреат Премии Правительства Российской Федерации «За разработку и создание новой техники» (2001 г.); Лауреат Государственной Премии Российской Федерации в области науки и техники «Создание научных основ и широкомасштабное внедрение конкурентоспособных технологий, комплекса оборудования неразрушающего контроля и диагностики для оценки технического состояния различных объектов» (2004 г.); Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники «За обеспечение безопасности и надежности оборудования электростанций на основе создания комплекса современных методов оперативной диагностики и восстановительных технологий» (2011 г.). Он имеет государственные награды: Орден Дружбы народов (1986 г. – за реализацию международных программ СЭВ), Орден «Октябрьской революции» (1989 г. – за работы по проекту «Энергия-Буран»), Орден «Дружбы» (1999 г. – за общественную деятельность Международного Союза бывших малолетних узников фашизма), государственные ордена и медали России, Украины, Польши, Международной Федерации Сопротивления.

#### **Монографические издания:**

1. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В двух частях. - Новосибирск: Наука. - 2005. Часть 1: Критерии прочности и ресурса - 494 с. Часть 2: Обоснование ресурса и безопасности - 610 с.
2. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. - Новосибирск: Наука. - 2008. - 528 с.
3. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. - М.: Машиностроение. - 1981. - 272 с.
4. Махутов Н.А. Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению. - М.: Машиностроение. - 1973. – 201 с.
5. Махутов Н.А. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. Тома 1-35. - М.: МГФ «Знание». - 1997-2011.
6. Проблемы разрушения, ресурса и безопасности технических систем. Под ред. д.т.н. Москвичева В.В., к.т.н. Гаденина М.М. К 60-летию чл.-корр. РАН Махутова Н.А. - Красноярск: Ассоциация КОДАС-СибЭРА. - 1997. - 520 с.
7. Прочность, ресурс и безопасность машин и конструкций. Под ред. чл.-корр. РАН Махутова Н.А., к.т.н. Гаденина М.М. - М.: ИМАШ РАН. - 2000. - 527 с.
8. Проблемы ресурса и безопасности энергетического оборудования. Под ред. чл.-корр. РАН Махутова Н.А. - М.: ИМАШ РАН - ФЦНТП ПП «Безопасность». - 1999. - 286 с.
9. ГНТП «Безопасность». Концепция и итоги работы 1991-92 гг. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ. - 1993 г. Том 1 - 350 с. Том 2 - 480 с.
10. Прочность, ресурс, живучесть и безопасность машин. / Отв. ред. Н.А. Махутов. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». - 2008. - 576 с.

11. Махутов Н.А., Пермяков В.Н. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов трубопроводов. - Новосибирск: Наука. - 2005. - 516 с.
12. Серенсен С.В., Шнейдерович Р.М., Махутов Н.А. и др. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчетов и испытаний. - М.: Наука. - 1975. - 288 с.
13. Серенсен С.В., Шнейдерович Р.М., Махутов Н.А. и др. Поля деформаций при малоцикловом нагружении. - М.: Наука. - 1979. - 278 с.
14. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Гохфельд Д.А. и др. Уравнения состояния при малоцикловом нагружении. - М.: Наука. - 1981. - 245 с.
15. Махутов Н.А., Воробьев А.З., Гаденин М.М. и др. Прочность конструкций при малоцикловом нагружении. - М.: Наука. - 1983, 271 с.
16. Махутов Н.А., Бурак М.И., Гаденин М.М. и др. Механика малоциклового разрушения. - М.: Наука. - 1986. - 264 с.
17. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. - М.: Машиностроение. - 1985. - 224 с.
18. Романов А.Н. Разрушение при малоцикловом нагружении. - М.: Наука. - 1988. - 280 с.
19. Махутов Н.А., Зацаринный В.В., Гаденин М.М. и др. Статистические закономерности малоциклового разрушения. - М.: Наука. - 1989. - 253 с.
20. Фролов К.В., Махутов Н.А., Израилев Ю.Л. и др. Расчет термонапряжений и прочности роторов и корпусов турбин. - М.: Машиностроение. - 1988. - 239 с.
21. Frolov K.V., Makhutov N.A., Izrailev Yu., Morozov E.M., Parton V.Z.. Thermal stresses and strength of turbines. - New-York- Washington-Philadellphia-London. - 1990.
22. Махутов Н.А. и др. Катастрофы и общество. М.: Контакт-культура. - 2000. - 331 с.
23. Нормы расчета на прочность элементов реакторов, парогенераторов, сосудов и трубопроводов атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок. - М.: Металлургия. - 1973. - 408 с.
24. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г - 7-002-86 - Правила и нормы в атомной энергетике). - М.: Энергоатомиздат. - 1989. - 525 с.
25. Фролов К.В., Махутов Н.А., Каплунов С.М. Динамика конструкций гидроаэроупругих систем. - М.: Наука. - 2002. - 397 с.
26. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Черняев А.П. Вероятностный риск анализ конструкций технических систем. - Новосибирск: Наука. - \* 2003. - 173 с.
27. Москвичев В.В., Махутов Н.А., Черняев А.П. и др. Трещиностойкость и механические свойства конструкционных материалов технических систем. - Новосибирск: Наука. - 2002. - 334 с.
28. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Земцов С.П. и др. Система оценки рисков при техническом регулировании. - М.: «Издательство ОВЛ». - 2006. - 96 с.
29. 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. - 464 с. - (Серия «Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов»).
30. Махутов Н.А., Фролов К.В., Стекольников В.В. и др. Прочность и ресурс водо-водяных энергетических реакторов. - М.: Наука. - 1988. - 312 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
31. Махутов Н.А., Фролов К.В., Стекольников В.В. и др. Экспериментальные исследования деформаций и напряжений в водо-водяных энергетических реакторах. - М.: Наука. - 1990. - 296 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).

32. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Модельные исследования и натурная тензометрия энергетических реакторов. - М.: Наука. - 2001. - 293 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
33. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Несущая способность парогенераторов водо-водяных энергетических реакторов. - М.: Наука. - 2003. - 440 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
34. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Динамика и прочность водо-водяных энергетических реакторов. - М.: Наука. - 2004. - 440 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
35. 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. - 464 с. - (Серия «Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов»).
36. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов Ю.Г. и др. Обеспечение ресурса и живучести водо-водяных энергетических реакторов. Под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина. - М.: Наука. - 2009. - 343 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
37. 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. - 460 с. - (Серия «Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов»).
38. Махутов Н.А., Рачук В.С., Гаденин М.М., Рудис М.А., Паничкин Н.Г. Прочность и ресурс ЖРД. Под ред. Н.А. Махутова и В.С. Рачука. - М.: Наука. - 2011. - 525 с. (Серия «Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей»).
39. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности. Учебное пособие. Под общ. ред. В.В. Ключева. - М.: Издательский дом «Спектр». - 2011. - 187 с. (Диагностика безопасности).
40. Махутов Н.А., Лыглаев А.В., Большаков А.М. Хладостойкость. Метод инженерной оценки. - Новосибирск: Из-во СО РАН. - 2011. - 195 с.

***Редакция журнала, коллеги и друзья сердечно поздравляют  
Николая Андреевича  
с юбилеем и желают доброго здоровья, счастья,  
неиссякаемой энергии,  
новых научных успехов, бодрости духа и оптимизма!***

УДК: 614.8:656.1

## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

*В.В.Тимакова*

ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. Москва

*Рассмотрены вопросы организационного, нормативного, методического и технического обеспечения повышения эффективности деятельности МЧС России в области ликвидации последствий автоаварий, освещены вопросы научной деятельности в данной области и реализации целевых программ. Изложены вопросы безопасности дорожного движения в зарубежных странах и Российской Федерации, аналитические сведения о состоянии системы спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), основные направления её совершенствования.*

**Ключевые слова:** федеральная целевая программа, международный опыт, дорожно-транспортные происшествия, безопасность, безопасность дорожного движения, обеспечение безопасности дорожного движения.

## THE BASIC APPROACHES TO FORMATION OF A STATE POLICY IN THE FIELD OF SAFETY OF TRAFFIC IN FOREIGN COUNTRIES

*V. Timakova*

VNII GOCHS, Moscow

*In article questions of organizational, standard, methodical and technical maintenance of increase of efficiency of activity of the Ministry of Emergency Measures of Russia in the field of liquidation of consequences of autofailures are considered, questions of scientific activity in the field and realizations of target programs are taken up. Traffic safety issues in foreign countries and the Russian Federation, analytical data on a condition of system of rescue of victims in road and transport incidents, the basic directions of its perfection are stated.*

**Key words:** The federal target program, the international experience, road and transport incidents, safety, safety of traffic, traffic safety.

В последние годы безопасность дорожного движения вышла на передний план в формировании политики многих европейских стран, а также европейских и международных организаций. Например, президент Франции, выступая в годовщину взятия Бастилии в 2002 г., назвал безопасность движения одним из трех национальных приоритетов своего президентства, заостряя внимание на выработке во Франции нового плана действий в этой области. Хотя полученные результаты еще предстоит должным образом оценить (с учетом возможных статистических отклонений), через год после осуществления первых шагов этого плана уровень ДТП понизился на 17,5%, серьезных травм — на 19%, а смертных случаев стало на 21% меньше, чем в предшествующий год.

Начиная с 2002 года было выдвинуто несколько международных политических инициатив, объединивших страны, в том числе Российскую Федерацию, для поддержки совместных усилий в интересах сокращения ДТП и дорожно-транспортного травматизма.

По сравнению с передовыми зарубежными странами в России показатели потерь в ДТП значительно выше (погибших до 30 тыс. человек, раненых около 250 тыс. чело-



век), что обусловлено плохим качеством дорожной сети, недостаточной подготовкой водительского состава, низкой дисциплиной участников дорожного движения, слабой правовой подготовкой населения по вопросам безопасности дорожного движения, несвоевременным оказанием помощи пострадавшим в ДТП. Это требует принятия неотложных комплексных мер всеми заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъекта РФ.

Проблема является настолько серьезной для всего человечества, что в 2005 году Генеральной Ассамблеей ООН был учрежден Всемирный день памяти жертв дорожно-транспортных аварий. Его цель заключается в том, чтобы почтить память жертв дорожно-транспортных происшествий и выразить соболезнования членам их семей, а также еще раз напомнить государствам о необходимости обеспечения безопасности дорожного движения. В принятой резолюции Генассамблея ООН призвала государства предпринять конкретные и решительные меры для предупреждения автомобильных аварий и смягчения их последствий.

В ноябре 2009 года в Москве прошла Первая всемирная министерская конференция по безопасности дорожного движения, Россия предложила объявить период с 2011 по 2020 год «Десятилетием действий», официальный старт «Десятилетия» назначили на 11 мая 2011 года». Масштабный проект призван стабилизировать, а затем сократить прогнозируемый уровень смертности в результате ДТП. Россия принимает самое активное участие в этих мероприятиях - ведь именно по инициативе нашей страны ООН и было принято решение об объявлении «Десятилетия Действий» [1].

По данным ООН, дорожно-транспортные происшествия занимают 10-е место в списке наиболее частых причин смерти людей. Наиболее безопасными в мире являются дороги Нидерландов (49 смертельных случаев на 1 млн. жителей), Швеция, Норвегия, Великобритания, Швейцария, Германия, Финляндия, Дания, Япония и Исландия (79 смертей в ДТП на 1 млн. жителей). В Европе ДТП уносят жизни около 350 человек в день или свыше 127 тыс. человек в год, что сопоставимо с гибелью населения среднего по размерам города.

Более 90% случаев гибели в результате ДТП происходит в развивающихся странах, на которые приходится менее половины всех автомобилей. Почти половина смертей в ДТП в мире приходится на пешеходов, велосипедистов и мотоциклистов, а в развивающихся странах этот показатель доходит до 80%. Наиболее часто смерти в результате ДТП фиксируются в государствах Африки (200 и более смертей на 1 млн. населения), чуть реже - в странах Ближнего Востока. В «бедных» странах наибольшее количество погибших составляют пешеходы, велосипедисты и пассажиры общественного транспорта [2].

Большинство мегаполисов Европы сумело значительно снизить уровень смертей в автокатастрофах. Лучшие показатели в гг. Дублин, Осло и Лиссабон: число трагических случаев здесь уменьшилось на 12%, 10% и 9%, соответственно, а так же в гг. Софии, Братиславы, Мадрида, Бухареста, Варшавы, Парижа, Копенгагена и Таллина.

В настоящее время национальные программы обеспечения безопасности дорожного движения действуют в Австралии, Австрии, Болгарии, Великобритании, Германии, Греции, Дании, Испании, Италии, Канаде, Латвии, Литве, Малайзии, Мексике, Нидерландах, Новой Зеландии, Норвегии, Польше, Португалии, Республике Корея, Саудовской Аравии, США, Турции, Финляндии, Швеции, Японии [3].

В Японии действующая в настоящее время программа безопасности дорожного движения входит в общую программу мероприятий по обеспечению безопасности транспорта.

В Великобритании принятая в 2000 г. программа «Дороги будущего безопаснее для всех» разрабатывалась как отдельный план действий, но с учетом положений десяти-

летнего плана развития транспорта. В 2004 г. программа включена в национальную стратегию развития транспорта на период до 2030 г. «Будущее транспорта».

В отдельных странах дополнительно к национальным программам обеспечения безопасности дорожного движения разрабатываются специальные программы. В Республике Корея, кроме общей программы снижения аварийности, действует программа создания «интеллектуальной транспортной системы» с применением современных высокотехнологичных навигационных средств.

Утверждаются программы на высшем уровне государственной власти и управления. В Дании, Италии, Швеции программы принимаются парламентами. В Мексике после одобрения парламентом программу утверждает президент страны. В Болгарии, Республике Корея, Финляндии, Японии национальные программы принимаются соответствующими постановлениями правительств, в Турции – решением премьер-министра. В некоторых странах (Австрия, Австралия, Бразилия, Великобритания) право утверждения программ предоставлено министрам ведущих министерств, причем в Великобритании – после одобрения парламентом.

В качестве конкретных примеров приведем варианты национальных программ ряда государств.

### **Нидерланды**

Среди национальных программ по обеспечению безопасности дорожного движения необходимо выделить, прежде всего, так называемый План мобильности, разработанный правительством в соавторстве с органами местного самоуправления и общественными организациями. Данный план будет определяющим для развития политики правительства в области транспорта и обеспечения безопасности дорожного движения до 2020 года.

На уровне Минтранса также будет принят ряд мер по укреплению безопасности на дорогах. В частности, данное министерство поставило цель сократить в ближайшее время число ежегодных смертей в результате ДТП с 1 100 до 900 человек за счет дополнительных отчислений для выполнения программы укрепления безопасности на дорогах.

### **Япония**

Государственной комиссией общественной безопасности совместно с главным полицейским управлением разработана программа мероприятий по обеспечению безопасности на транспорте, которая предусматривает комплекс мер как на общегосударственном, так и на региональном уровне.

### **Финляндия**

В настоящее время в стране реализуется национальная программа по обеспечению безопасности дорожного движения, разработанная по поручению министерства транспорта и связи Консультативным комитетом по безопасности дорожного движения и утвержденная правительством. Ближайшая цель программы – снизить травматизм на дорогах Финляндии. Программа включает в себя около 50 направлений работы с указанием ответственных ведомств за каждое из них. Программы обеспечения БДД на региональном уровне разрабатывают губернские правления. Муниципалитеты могут разрабатывать собственные программы обеспечения БДД в рамках своей компетенции.

### **Швеция**

Национальным планом развития дорожно-транспортной системы на 2004-2015 гг. предусмотрена программа обеспечения безопасности дорожного движения. В целях координации усилий участников данного плана и контроля его исполнения действует так называемый «Национальный форум координации безопасности дорожного движения». Особое внимание в плане уделяется проблеме обустройства, совершенствования и развития улично-дорожной сети. Те мероприятия, которые реализуются на национальных и региональных дорогах, финансируются государством.

## Греция

В стране разработан стратегический план обеспечения дорожной безопасности, в целом одобренный правительством в ноябре 2004 года. План предусматривает принятие конкретных мер по следующим направлениям:

- реорганизация системы выдачи водительских удостоверений. Предусматриваются более тщательное обучение и строгое проведение экзаменов для кандидатов в водители;
- совершенствование системы контроля поведения водителей;
- проведение целенаправленной кампании по информированию общественности о необходимости принимаемых мер безопасности на дорогах;
- ужесточение контроля технического состояния автотранспорта и повышение порога его безопасности;
- совершенствование дорожной инфраструктуры страны. Запланировано систематическое и регулярное проведение работ, направленных на поддержание дорог в исправном состоянии, строительство дорог, отвечающим современным требованиям безопасности;
- организация эффективного контроля выполнения плановых мероприятий. Жесткое соблюдение графика реализации предусмотренных планом мер. Четкое и полное финансовое обеспечение проводимых работ;
- совершенствование надзора за дорожным движением. Активизация патрулирования дорог силами полиции. Создание специальных подразделений дорожной полиции, обслуживающих национальные дороги, а также регулировщиков дорожного движения. Создание эффективной системы административных наказаний нарушителей и взимания с них серьезных денежных штрафов;
- устранение последствий дорожных аварий. Создание условий, позволяющих оперативно и быстро перевозить раненых в больницы. Создание системы психологической поддержки тех, кто прямо или косвенно оказался вовлеченным в ДТП.

В Российской Федерации принят Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения». Он определяет правовые основы обеспечения безопасности дорожного движения на территории Российской Федерации.

Задачами Федерального закона являются: охрана жизни, здоровья и имущества граждан, защита их прав и законных интересов, а также защита интересов общества и государства путем предупреждения ДТП, снижения тяжести их последствий.

С 2006 по 2012 год в решении мероприятий федеральной целевой программы (далее - Программа) «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» принимает Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (далее – МЧС России). Целью Программы является сокращение количества лиц, погибших в результате ДТП. Основные усилия данной программы направлены на комплексное решение таких задач как:

- совершенствование нормативно-правовой базы, регламентирующей порядок оказания медицинской помощи пострадавшим в ДТП;
- подготовлены предложения по внесению соответствующих изменений в Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан от 22.07.1993 г. № 5481, ФЗ от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения», ФЗ от 22 августа 1995 г. № 151-ФЗ «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей», № 3-ФЗ «О полиции» от 7.02.2011 г.

За последние шесть лет МЧС России проводилась целенаправленная работа по совершенствованию системы спасения пострадавших в ДТП и выполнению мероприятий по реализации Программы.

Основное внимание при этом уделялось вопросам своевременного реагирования пожарно-спасательных подразделений на ДТП. Указанная задача решалась за счет сокращения времени на обнаружение и оповещение о ДТП, обеспечения быстрого выдвижения спасателей к месту ДТП, совершенствования взаимодействия с подразделениями МВД России, Минздравсоцразвития России, других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, участвующими в ликвидации последствий ДТП, улучшения технологии проведения аварийно-спасательных работ, внедрения авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий ДТП, разработки более совершенных образцов аварийно-спасательной техники, оборудования и инструмента.

В результате выполнения Программы и соответствующих региональных и муниципальных программ число погибших в ДТП сократилось с 34,5 тыс. человек в 2004 году до 26,5 тыс. человек в 2010 году.

Результаты реализации Программы позволили Российской Федерации войти в число стран – лидеров по темпам сокращения смертности на дорогах, существенно опередив по этому показателю практически все европейские и азиатские страны, Соединенные Штаты Америки и Австрию, что свидетельствуют об эффективности использования программно-целевого подхода при решении проблем по обеспечению безопасности дорожного движения.

Однако абсолютные значения основных показателей аварийности по сравнению с развитыми странами мира остаются большими, что диктует необходимость продолжения начатой работы.

Принятие Концепции федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах», разработка Программы и ее последующая реализация позволят, по предварительным оценкам, сократить смертность населения в ДТП к 2020 году в полтора раза по сравнению с 2010 годом [4].

Мероприятия, выполненные в рамках Программы позволят повысить:

- уровень подготовки специалистов, участвующих в оказании помощи пострадавшим в ДТП;
- эффективность работ по разработке транспортных средств и деблокированию пострадавших, сократить время проведения спасательных работ;
- улучшить информированность населения о современных способах оказания помощи лицам, пострадавшим в результате ДТП.

Ключевыми направлениями государственной политики в области обеспечения безопасности дорожного движения зарубежными специалистами многих стран признаны:

- снижение рисков в дорожном движении;
- создание более безопасной дорожной среды;
- переход к более совершенным и безопасным транспортным средствам;
- обеспечение соблюдения правил дорожного движения;
- совершенствование системы оказания медицинской помощи пострадавшим в результате ДТП.

В большинстве стран государственная политика нашла свое воплощение в национальных программах снижения уровня аварийности.

В настоящее время во многих странах разрабатываются национальные программы обеспечения безопасности дорожного движения со сроками выполнения конкретных мероприятий и распределением соответствующих ресурсов. В результате анализа международного опыта определен следующий алгоритм разработки национальных программ повышения уровня безопасности дорожного движения:

- разработка программы начинается с анализа причин аварийности и выявления проблем, решение которых в максимальной степени будет способствовать уменьшению количества ДТП и снижению тяжести их последствий;

- из общего перечня мер в программу включаются наиболее эффективные в социальном и экономическом планах мероприятия;

- программа предусматривает постоянное отслеживание результатов ее реализации и возможность внесения при необходимости соответствующих коррективов.

Таким образом, необходим поиск новых возможностей активизации работы в области безопасности дорожного движения. Избежать все ДТП в обозримом будущем нереально, однако есть весомые свидетельства того, что количество и удельные показатели связанных с ними смертельных случаев и серьезных травм можно за короткое время значительно снизить, сосредоточившись на ключевых факторах риска и более широком и эффективном внедрении принципов и мер безопасности, которые подтвердили свою правильность и действенность в разных странах.

### Литература

1. Материалы первой всемирной министерской конференции по безопасности дорожного движения: Время действовать. 19-20 ноября 2009 г.
2. Монография «Совершенствование системы спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях», г. Москва, ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2011.
3. <http://www.fcp-pbdd.ru>, ресурс официального сайта федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах».
4. Проект Концепции федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах».

### Сведения об авторе

**Тимакова Вилена Владимировна** - научный сотрудник Центра мониторинга ликвидации последствий ДТП Центра «Нормативного регулирования», г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7, каб. 627, контактный тел: (499) 449-90-33.

УДК 614.84

## АНАЛИЗ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКИХ С УЧЕТОМ РИСКОВ И ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Член-корреспондент РАН *Н.А. Махутов*, кандидат техн. наук *Д.О. Резников*  
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

*Рассмотрены особенности основных подходов к обеспечению защищенности сложных технических систем. Проанализированы условия, при которых эти подходы могут считаться эквивалентными и дополнительные возможности, которые дают проектировщику те или иные подходы.*

**Ключевые слова:** защищенность, риск, вероятность отказа, сложная техническая система.

## ANALYSIS AND ENSURING PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT RISKS AND LIMIT STATES

Corresponding member of the RAS *N.A. Makhutov*, Ph.D. (Tech.) *D.O. Reznikov*  
Institute of Machine Sciences RAS

*The paper addresses specific features of three basic approaches to ensuring safety of complex technical systems. The conditions when these approaches could be considered as equivalent are analyzed. Advantages and disadvantages of the proposed approaches are identified.*

**Key words:** protection, risk, failure probability, complex technical system.

### 1. Введение

При анализе и обеспечении защищенности критических инфраструктур также как и техносферы в целом, принято выделять объекты четырех типов, которые отличаются по уровню потенциальной опасности и требованиям к обеспечению их защищенности:

- объекты технического регулирования, защищенность которых обеспечивается в соответствии с законом о техническом регулировании,
- опасные производственные объекты, защищенность которых обеспечивается в соответствии с законом о промышленной безопасности,
- критически важные объекты, защищенность которых обеспечивается по решению Совета Безопасности Российской Федерации,
- стратегически важные объекты, защищенность которых влияет на состояние национальной безопасности и должна обеспечиваться в соответствии со специальными решениями Совета Безопасности.

Указанные объекты относятся к категории сложных технических систем (далее СТС) как с точки зрения сложности их структуры, так и с точки зрения сложного характера взаимодействия их элементов. Для указанных систем характерны различные предельные состояния и механизмы их достижения, для изучения которых используются принципиально различные методы.

Защищенность СТС определяется ее способностью противостоять реализации различных предельных состояний ее элементов, а также не допускать катастрофических разрушений на этапах закритического функционирования системы после достижения предельных состояний ее отдельными элементами. Защищенность СТС приходится обеспечивать

в условиях высокого уровня неопределенности относительно интенсивности эксплуатационных нагрузок и внешних воздействий на систему, с одной стороны, а также несущей способности ответственных элементов СТС на различных этапах цикла ее эксплуатации, с другой. Источниками неопределенностей являются: естественная вариативность параметров системы и внешней среды, ограниченность знаний о событиях и процессах, протекающих в сложных технических системах; неточность имеющихся статистических данных и существующих оценок; несовершенство используемого контрольно-измерительного оборудования и математических моделей.

Широкое разнообразие методов обеспечения защищенности при проектировании сложных технических систем разрабатывается в рамках трех принципиально различных подходов [1,2]:

1) Нормативный подход к обеспечению защищенности, основанный на обеспечении запасов по основным механизмам достижения предельных состояний (далее этот подход для краткости будут именоваться нормативным).

2) Подход к обеспечению защищенности по критерию надежности, основанный на оценке вероятности достижения предельного состояния (далее - вероятностный подход).

3) Подход к обеспечению защищенности по критерию рисков основанный на оценке вероятности реализации предельных состояний и ущерба от такой реализации (далее подход, основанный на управлении риском).

Необходимо отметить, что исторически, начиная с античных времен, в течение многих столетий развивался первый подход, при котором неопределенности, с которыми сталкивались при проектировании, строительстве и эксплуатации технических систем учитывались с помощью введения системы коэффициентов запаса (которые, также иногда называли коэффициентами незнания). Второй подход получил распространение в середине 20 столетия с развитием таких дисциплин как теория вероятности и теория надежности, позволяющих оценивать неопределенности с помощью вероятности достижения системой предельных состояний. Начиная с 70-х годов 20 века с развитием теории риска и вычислительной техники, получает все более широкое распространение третий подход к обеспечению защищенности СТС, который позволяет в математически более корректной форме учитывать как неопределенности, обуславливающие возможность достижения предельных состояний, так и размер ущербов, ожидаемых при реализации предельных состояний.

Ниже будет проведена сопоставительная оценка перечисленных подходов и рассмотрены условия, при которых эти подходы могут считаться эквивалентными. Введем следующие обозначения: пусть при рассматриваемом механизме достижения предельных состояний функция предельных состояний СТС записывается в виде<sup>1</sup>:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1 \quad (1)$$

где  $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$  - функция состояния системы. Разделим переменные состояния системы  $x_1, x_2, \dots, x_n$  на две группы:  $y_1, y_2, \dots, y_m$  - случайные переменные состояния системы,  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k$  - варьируемые параметры, значения которых выбираются при проектировании. Эти параметры могут считать детерминированными.

Тогда функция предельных состояний будет записываться в виде

$$g(y_1, y_2, \dots, y_m, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k) = 1 \quad (2)$$

причем условие обеспечения защищенности принимает вид:

$$g(y_1, y_2, \dots, y_m, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k) \leq 1 \quad (3)$$

а условие разрушения

$$g(y_1, y_2, \dots, y_m, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k) > 1 \quad (4)$$

<sup>1</sup> Такой вид функции предельных состояний, несколько отличающийся от традиционной записи функции предельных состояний вида  $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ , более удобен для дальнейших преобразований.

Для краткости записи вводятся также векторы случайных переменных состояния  $\bar{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$  и варьируемых параметров проектирования  $\bar{\chi} = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k\}$ . Тогда условия (2)-(4) могут также быть записаны в краткой форме:

$g(\bar{Y}, \bar{\chi}) = 1$  - функция предельных состояний,  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) \leq 1$  - условие обеспечения защищенности и  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1$  - условие разрушения.

## 2. Нормативный подход к обеспечению защищенности

Суть нормативного подхода заключается в следующем:

1) Случайные переменные  $y_1, y_2, \dots, y_n$  в функции состояний  $g(y_1, y_2, \dots, y_m, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k)$  заменяются на известные детерминированные величины, характеризующие их распределения. В частности, для этой цели могут быть использованы математические ожидания:  $E(y_1), E(y_2), \dots, E(y_m)$ . При подобном преобразовании функция случайных аргументов  $g(y_1, y_2, \dots, y_m, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k)$  заменяется на детерминированную функцию:

$$g_0(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k) = g(E(y_1), E(y_2), \dots, E(y_m), \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k). \quad (5)$$

2) Учитывая неопределенности, которые присутствовали в условии обеспечения защищенности (3) до замены переменных  $y_1, y_2, \dots, y_n$  на их математические ожидания, в правую часть неравенства вводится, как множитель, предписанный нормативный (предельно допустимый) запас  $[n] > 1$

Таким образом, условие обеспечения защищенности при нормативном подходе записывается в виде:

$$[n] \cdot g_0(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k) \leq 1 \quad (6)$$

Это означает, что обеспечение защищенности при нормативном подходе предполагает такой выбор параметров  $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k$ , чтобы при заданном предельно-допустимом нормативном запасе  $[n]$  обеспечить выполнение неравенства (6).

Вопрос о выборе  $[n]$  является весьма сложным. Нормативный запас по рассматриваемому предельному состоянию назначается исходя из опыта эксплуатации подобных систем; уровня неопределенности (т.е. характера распределений переменных  $y_1, y_2, \dots, y_n$  и количестве имеющейся информации об этих переменных); социально-экономических условий страны; точности расчетных моделей и величины ущерба, ожидаемого в случае достижения предельных состояний. Таким образом, величины запасов определяются как объективными факторами (уровень неопределенности относительно нагрузок и несущей способности конструкции; критичность последствий, связанных с достижением предельного состояния) так и субъективными обстоятельствами (культура безопасности в отдельных отраслях и стране в целом, восприятие угроз в обществе). Современные значения нормативных запасов для элементов СТС, относящихся к различным отраслям, изменяются в следующих диапазонах (табл. 1).

Из представленных в табл. 1 данных следует, что значения нормативных запасов варьируются в весьма широких диапазонах (как внутри отдельных отраслей, так и между отраслями). Это свидетельствует об отсутствии единой методологической базы их обоснования. Использование подобного подхода при проектировании новых (уникальных) объектов сопряжено с большими сложностями и высоким уровнем неопределенности, связанным с отсутствием опыта назначения допустимых запасов по предельным состояниям, которые могут реализовываться в системе.



Таблица 1

**Количественные значения нормативных запасов прочности**

| Отрасль, тип технической системы                             | Диапазон значений $[n]$ |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Авиационная техника                                          | 1,25-2,0                |
| Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок | 1,07-3,0                |
| Металлургическое оборудование                                | 2,07-8,0                |
| Железнодорожный транспорт                                    | 3,33-5,56               |
| Подъемно-транспортные машины                                 | 1,3-1,6                 |
| Сосуды и аппараты, работающие под давлением                  | 1,5-4,0                 |

Следует иметь в виду, что для сложных систем характерно наличие различных предельных состояний  $ПС_i, i = 1, 2, \dots, q$ , соответствующих различным механизмам разрушения (однократные перегрузки, кумулятивные механизмы усталостного разрушения и т.д.). В этом случае принято вводить систему запасов  $n_1, n_2, \dots, n_q$  по основным механизмам достижения предельных состояний. Причем запасы по различным предельным состояниям оказываются не связанными между собой, при этом система может обладать избыточной защищенностью по одним предельным состояниям и недостаточной по другим. Для создания защищенной системы при нормативном подходе организуется итерационная процедура (рис. 1), при которой параметры проектирования  $\chi_i$  варьируются до тех пор, пока условие обеспечения вида (6) не будет выполнено.

### 3. Вероятностный подход к обеспечению защищенности СТС

Начиная со второй половины XX века при обеспечении защищенности сложных технических систем все более широко используются подходы теории надежности. При этом система считается защищенной, если выполняется условие:

$$P_\phi < [P_\phi], \quad (7)$$

где  $P_\phi$  - расчетная вероятность отказа (разрушения) системы, а  $[P_\phi]$  - предписанное предельно допустимое значение вероятности отказа СТС данного типа.

Будем считать, что для рассматриваемой системы известны функция предельных состояний (2) и функция плотности распределения вероятности (8).

$$f(y_1, y_2, \dots, y_n | \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m) \quad (8)$$

Тогда расчетная вероятность отказа будет записана в виде:

$$P_\phi = P\{g(y_1, y_2, \dots, y_n, \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m) > 1 | \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m\} = \int_{g(Y|\chi) > 1} f(y_1, y_2, \dots, y_n | \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_m) dy_1 dy_2 \dots dy_n$$

или в краткой форме:

$$P_\phi = P\{g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1 | \bar{\chi}\} = \int_{g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1} f(\bar{Y} | \bar{\chi}) d\bar{Y} \quad (9)$$

Таким образом, условие обеспечения защищенности системы в постановке теории надежности (7) может быть записано в виде:

$$P\{g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1 | \bar{\chi}\} < [P_\phi] \quad (10)$$

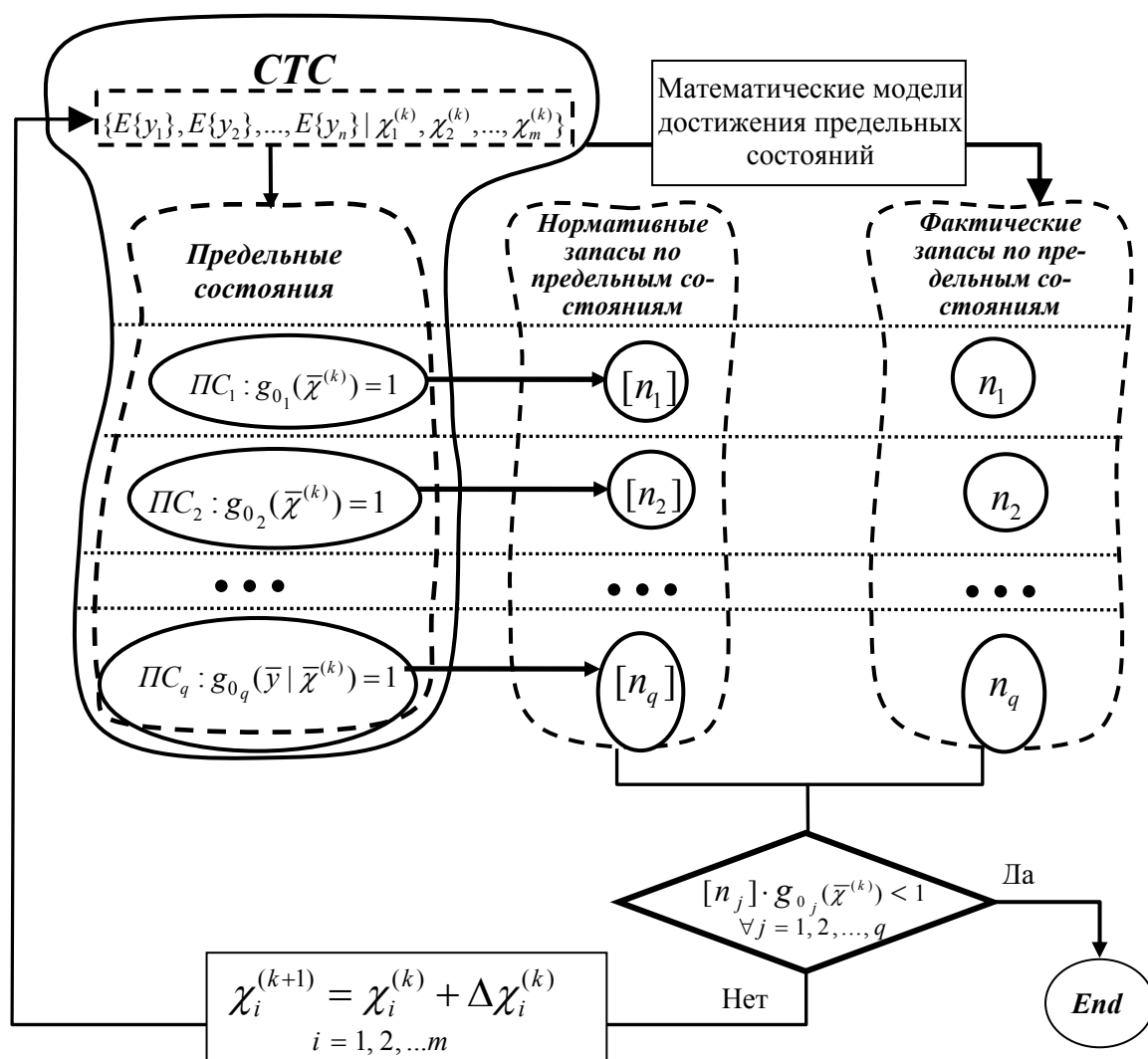


Рис. 1. Алгоритм проектирования систем при нормативном подходе к обеспечению защищенности

То есть обеспечение защищенности элементов CTC по критерию надежности предполагает, что при проектировании системы параметры  $\bar{\chi}$  выбираются таким образом, чтобы обеспечить выполнение условия (10).

Предельная величина вероятности отказа  $[P_\phi]$  устанавливается в зависимости от таких факторов как величина ущерба, который может наступить в случае отказа, социальной значимости системы и срока ее эксплуатации. В частности, Международной научно-информационной ассоциацией строительной индустрии (CIRIA-Construction Industry Research and Information Association) для сложных инженерных сооружений (плотин, мостов, шельфовых платформ) принята следующая формула для оценки предельно допустимой расчетной вероятности отказа (разрушения) системы:

$$[P_\phi] = \frac{10^{-4} \xi_s \cdot t}{L \cdot k_{HF}}, \quad (11)$$

где  $t$  - расчетный срок эксплуатации системы;  $L$  - среднее количество людей, которые могут погибнуть в случае разрушения системы;  $k_{HF}$  - коэффициент, учитывающий от-

казы, связанные с человеческим фактором (обычно принимают  $k_{HF} = 10$ );  $\xi_s$  - коэффициент социальной значимости системы (см. табл. 2) [4]. Таким образом, величина  $[P_\phi]$  обычно оказывается в диапазоне  $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-7}$ .

Таблица 2

**Коэффициент социальной значимости для различных типов технических систем**

| Тип системы                                                               | $\xi_s$ |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| Объекты массового скопления людей (спортивные комплексы, торговые центры) | 0,005   |
| Плотины                                                                   | 0,005   |
| Жилые здания, офисные центры, промышленные объекты                        | 0,05    |
| Мосты                                                                     | 0,5     |
| Буровые вышки, шельфовые установки                                        | 5       |

Следует иметь в виду, что формула (11) учитывает неопределенности, связанные не только со случайным характером нагрузок и несущей способности конструкций, но также и неопределенности, связанные с человеческим фактором. Это достигается путем введения коэффициента  $k_{HF}$ , который, как правило, принимается равным 10. Часто в нормативных документах фигурирует, так называемая, теоретическая предельно допустимая вероятность отказа  $[P_\phi^T]$ , которая оценивается без учета возможных ошибок или несанкционированных воздействий со стороны человека и оказывается существенно ниже, чем  $[P_\phi]$ . Принято считать, что эти величины различаются на порядок:  $[P_\phi] \sim 10 \cdot [P_\phi^T]$ . То есть, сама теоретическая предельно-допустимая вероятность отказа оценивается как:

$$[P_\phi^T] = \frac{10^{-5} \xi_s \cdot t}{L} \quad (12)$$

В настоящее время вероятностный подход к обеспечению защищенности все больше внедряется в практику нормирования ряда отраслей, в частности, при проектировании объектов атомной энергетики, гидротехнических сооружений, шельфовых нефтегазодобывающих платформ, судостроении и др. При этом в качестве нормируемого параметра часто используется не предельная вероятность разрушения, а индекс надежности.

Необходимо отметить, что наличие коэффициента социальной значимости системы  $\xi_s$  в формуле (11) позволяет, в неявной форме и весьма приближенно, учесть масштаб возможных последствий отказа при принятии решений о том, можно ли считать рассматриваемую систему защищенной. Более полный и математически корректный способ учета последствий отказа сложных технических систем реализуется в рамках подхода к обеспечению защищенности СТС, который базируется на теории рисков.

### 3. Сопоставление нормативного и вероятностного подходов

Следует отметить, что проектирование и обеспечение защищенности СТС на основе нормативного подхода, базирующегося на назначении запасов является менее трудозатратным, поскольку для того чтобы убедиться, что выражение (6) справедливо, необходимо лишь один раз оценить  $g_0(\bar{\chi})$ , в то время как расчет по критерию надежности (10) требует проведения многократной оценки  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$ . К сожалению,

нормативному подходу, несмотря на его простоту, недостает строгости и точности анализа и учета неопределенностей. Существенное влияние при оценке защищенности играют субъективный фактор и наличие опыта эксплуатации систем данного класса в сходных условиях внешней среды. Возможности применения нормативного подхода при проектировании уникальных объектов, для которых отсутствует релевантная статистическая информация, оказываются весьма ограниченными. Кроме того, нормативный подход не позволяет решать вопрос оптимизации проектируемой системы поскольку не дает возможность сопоставить затраты на создание системы с заданным запасом и положительный эффект, связанный с повышением защищенности, который невозможно подсчитать, не ответив на вопрос: *До какого уровня может быть снижена вероятность отказа, если обеспечить выполнение назначенного запаса?* Следовательно, нормативный подход не позволяет осуществлять выбор оптимального из ряда возможных вариантов системы.

Проектирование и обеспечение защищенности СТС по критерию надежности, напротив, представляет собой достаточно строгую математическую процедуру учета неопределенностей, связанных с нагрузками и несущей способностью системы. Он позволяет принимать обоснованные решения при проектировании системы в условиях неопределенности, производить сопоставительные оценки уровня защищенности при различных параметрах  $\bar{\chi}$  проектируемой системы и осуществлять оптимизацию системы. Однако использование вероятностного подхода сопряжено со значительными трудозатратами и требует высокой квалификации проектировщика.

Поэтому было бы весьма, полезно объединить достоинства обоих подходов, получив, в тех случаях, когда это возможно, зависимость между запасом и вероятностью отказа. Это позволило бы, в частности, спроектировав систему с заданным запасом, оценить ее защищенность по критериям надежности. Сопоставление областей защищенных состояний  $\Omega_n$  и  $\Omega_p$ , полученных соответственно по критерию запаса и критерию надежности, является отдельной актуальной задачей.

Исходя из интуитивных соображений, естественно предположить, что, по крайней мере, в некоторых случаях между предписанным запасом  $[n]$  и предельно допустимой вероятностью отказа  $[P_\phi]$  существует монотонно убывающая зависимость. В тех случаях, когда это предположение оказывается справедливым, можно говорить об эквивалентности нормативного и вероятностного подходов. К сожалению, в общем случае произвольной функции состояний  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  не существует взаимно-однозначного соответствия между величинами  $[n]$  и  $[P_\phi]$ , и, следовательно, нельзя говорить об эквивалентности этих двух подходов.

### 3.1. Эквивалентность нормативного и вероятностного подходов для простейшего частного случая

Рассмотрим вопрос об эквивалентности двух подходов для следующего частного случая: Пусть функция предельных состояний системы задается следующим соотношением некоррелированных и распределенных по нормальному закону величин нагрузки  $\Sigma^\vartheta$  и несущей способности  $\Sigma^C$ :

$$g(\Sigma^C, \Sigma^\vartheta) = \Sigma^\vartheta / \Sigma^C - 1 = 0. \quad (13)$$

Условие обеспечения защищенности записывается в виде<sup>2</sup>:

$$\Sigma^{\varnothing} / \Sigma^C \leq 1.$$

При нормативном подходе неопределенные величины  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  в условии (14) заменяются на их математические ожидания  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$  и  $E\{\Sigma^C\}$ , а для учета связанных с этой заменой неопределенностей вводится нормативный предельно допустимый запас  $[n] > 1$ .

$$[n] \cdot E\{\Sigma^{\varnothing}\} / E\{\Sigma^C\} \leq 1 \quad (14)$$

Заметим, что в данном случае  $g_0 = E\{\Sigma^{\varnothing}\} / E\{\Sigma^C\}$ . Далее условие (14) может быть переписано в виде:

$$[n] \leq E\{\Sigma^C\} / E\{\Sigma^{\varnothing}\}$$

Откуда можно получить обычное условие обеспечения защищенности, вида:

$$[n] \leq n,$$

где  $n = E\{\Sigma^C\} / E\{\Sigma^{\varnothing}\}$  - фактический запас, который должен быть не ниже нормативного предельно допустимого запаса  $[n]$ . Таким образом, величина запаса  $n$  определяется соотношением между математическими ожиданиями величин нагрузки и несущей способности.

Очевидно, что введение запасов не может полностью исключить возможность отказа (разрушения) системы. Поэтому при использовании нормативного подхода встает вопрос о том, какая предельная вероятность отказа  $[P_{\phi}]$  соответствует заданному нормативному запасу  $[n]$ .

В рамках нормативного подхода, опирающегося на назначение запасов по условию (6), учитывается только соотношение между характеристическими значениями распределений (в рассматриваемом примере математическими ожиданиями нагрузки и несущей способности  $E\{\Sigma^C\} / E\{\Sigma^{\varnothing}\}$ ). При этом вероятность отказа может быть оценена только с помощью приближенного выражения (15), не учитывающего более высокие моменты распределений  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$ :

$$P_{\phi} \approx \psi_1(n | \bar{\chi}) = \psi_1\left(\frac{E\{\Sigma^C\}}{E\{\Sigma^{\varnothing}\}} | \bar{\chi}\right) \quad (15)$$

Следовательно, предельно допустимому запасу  $[n]$  можно будет приближенно поставить в соответствие предельно допустимую вероятность отказа  $[P_{\phi}]$  с помощью функции  $\psi_1: [P_{\phi}] \approx \psi_1([n])$ .

Между тем вероятность разрушения  $P_{\phi}$  определяется областью перекрытия графиков плотностей распределения величин  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  (рис.2). Очевидно, что конфигурация этой области зависит не только от центров распределения  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$  и  $E\{\Sigma^C\}$ , но и от средне квадратичных отклонений  $S\{\Sigma^C\}, S\{\Sigma^{\varnothing}\}$ , а также, если законы распределения величин  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  отличны от нормального, и от более высоких моментов распределений.

$$P_{\phi} = \varphi\left(\frac{E\{\Sigma^C\}}{E\{\Sigma^{\varnothing}\}}, S\{\Sigma^C\}, S\{\Sigma^{\varnothing}\}, \underset{\text{моменты высших порядков}}{\dots} | \bar{\chi}\right) \quad (16)$$

<sup>2</sup> Отметим также, что нагрузка и несущая способность являются функциями случайных переменных состояния  $\bar{Y}$  и параметров проектирования  $\bar{\chi}$ :  $\Sigma^{\varnothing} = \Sigma^{\varnothing}(\bar{Y}, \bar{\chi})$  и  $\Sigma^C = \Sigma^C(\bar{Y}, \bar{\chi})$ . Однако, далее будет использоваться краткая запись  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$ .

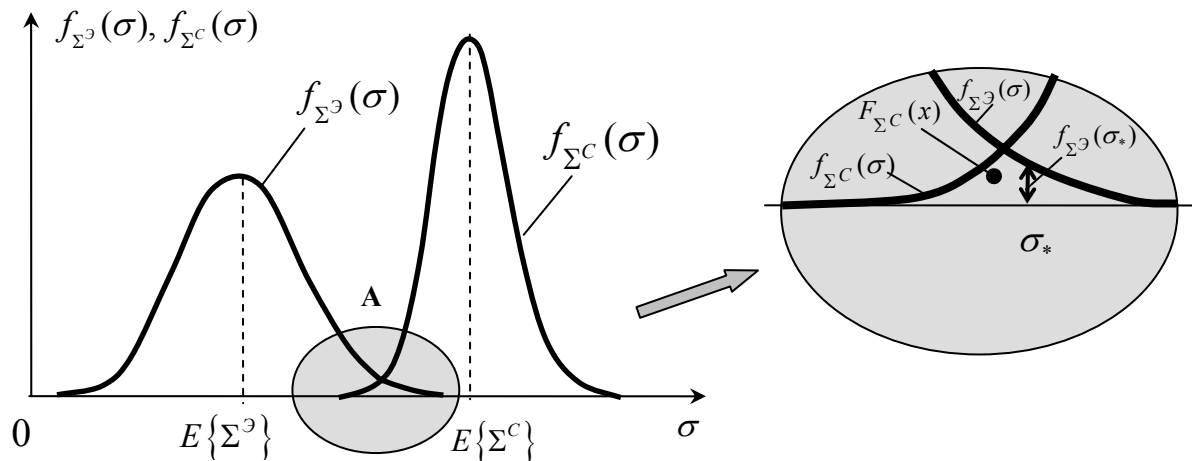


Рис. 2. Оценка вероятности разрушения с помощью функций плотностей распределения несущей способности и нагрузки

Для рассматриваемого частного случая, когда величины  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  являются некоррелированными и распределены по нормальному закону, можно легко показать, что вероятность разрушения имеет вид [5,6]:

$$P_{\phi} = \Phi \left( - \frac{E\{\Sigma^C\} - E\{\Sigma^{\varnothing}\}}{\sqrt{(S\{\Sigma^C\})^2 + (S\{\Sigma^{\varnothing}\})^2}} \mid \bar{\chi} \right) \quad (17)$$

где  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$  - нормальная функция распределения.

Таким образом, для рассматриваемого случая нормально распределенных, некоррелированных величин  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$ , если при варьировании параметрами  $\bar{\chi}$  средне квадратичные отклонения  $S\{\Sigma^C\}$  и  $S\{\Sigma^{\varnothing}\}$  являются постоянными, то вероятность разрушения зависит только от величин математических ожиданий  $E\{\Sigma^C\}$  и  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$ .

Сопоставление выражений (15), (16) и (17) позволяет сделать предположение, что подходы, базирующиеся на назначении запасов и на теории надежности, являются эквивалентными в том случае, когда вторые и более высокие моменты распределений являются константами, то есть, не меняются при варьировании параметров проектирования  $\bar{\chi}$ . В этом случае изменение параметров  $\bar{\chi}$  приводит к тому, что распределения величин  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  сдвигаются друг относительно друга, не изменяя своей формы. При этом изменение вероятности разрушения будет зависеть только от изменения соотношения между математическими ожиданиями  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$  и  $E\{\Sigma^C\}$  (рис.3а). Тогда приближенное соотношение между запасом и вероятностью отказа (15) становится точным, то есть существует функциональная зависимость между запасом и вероятностью разрушения.

Если же в процессе варьирования параметрами  $\bar{\chi}$ , среднеквадратичные отклонения величин  $\Sigma^{\varnothing}$  и  $\Sigma^C$  будут изменяться (рис. 3б), то область перекрытия графиков  $f_{\Sigma^C}(\sigma)$  и  $f_{\Sigma^{\varnothing}}(\sigma)$ , а, следовательно, и вероятность отказа (по выражению 17), становится функцией не только от соотношения между математическими ожиданиями  $E\{\Sigma^C\}$  и  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$ , но и от среднеквадратичных отклонений  $E\{\Sigma^C\}$  и  $E\{\Sigma^{\varnothing}\}$ . В этом

случае функциональной зависимости между запасом  $n$  вероятностью отказа  $P_\phi$  не существует, и, следовательно, не существует и взаимнооднозначного соответствия между предельно допустимыми величинами  $[n]$  и  $[P_\phi]$ .

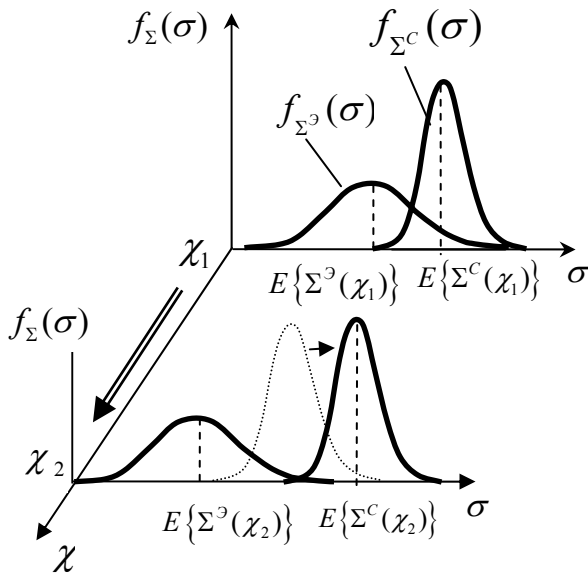


Рис. 3а. Пример случая, когда по мере варьирования параметром  $\chi$  при увеличении запаса вероятность разрушения монотонно уменьшается

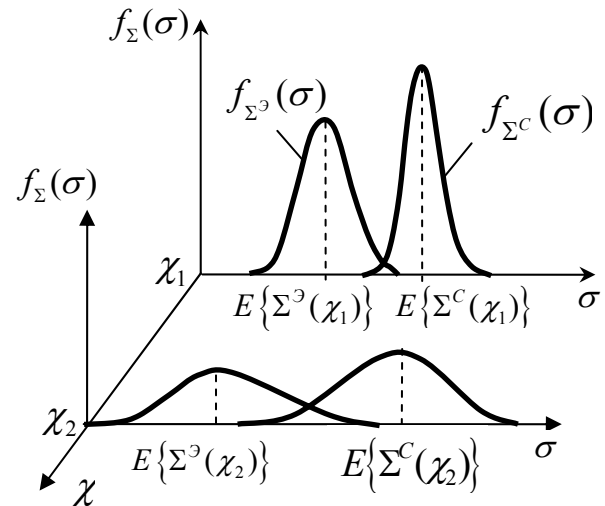


Рис. 3б. Пример случая, когда по мере варьирования параметром  $\chi$ , при увеличении запаса вероятность разрушения возрастает

### 3.2. Эквивалентность нормативного и вероятностного подходов в случае произвольной функции предельных состояний

Несмотря на то, что в общем случае, взаимнооднозначного соответствия между  $[n]$  и  $[P_\phi]$  не существует, может быть сформулировано достаточное условие наличия подобного соответствия [7]. Величины  $[n]$  и  $[P_\phi]$  находятся между собой в определенной функциональной зависимости, если распределение нормализованной функции состояний  $G(\bar{Y}, \bar{\chi})$ , определяемой как отношение функции состояний  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  и номинальной функции состояний  $g_0(\bar{\chi})$ , является инвариантным по всей допустимой области  $D$  варьирования параметров проектирования  $\bar{\chi}$ . Более того, если данное условие выполняется, то можно доказать теорему, определяющую вид этой зависимости.

Следует отметить, что номинальная функция  $g_0(\bar{\chi})$  является детерминированной функцией параметров проектирования, выбор которой зависит от вида функции состояний  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$ . Поиск такой функции  $g_0(\bar{\chi})$ , которая позволяет обеспечить инвариантность нормированного распределения  $G(\bar{Y}, \bar{\chi})$  при варьировании параметрами  $\bar{\chi}$ , является отдельной задачей. Достаточно часто номинальную функцию можно получить, путем замены в функции  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  случайных переменных  $\bar{Y}$  на их математические ожидания:  $g_0(\bar{\chi}) = g(E\{\bar{Y}\}; \bar{\chi})$ .

*Теорема.* Если нормированное распределение  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  является инвариантным по всей допустимой области параметров проектирования  $D$ , то существуют пары значений  $([n], [P_\phi])$ , такие что:

1) Оказываются эквивалентными условия:

$$[n] \cdot g_0(\bar{\chi}) \leq 1 \quad (18)$$

и

$$P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1 | \bar{\theta}) \leq [P_\phi] \quad (19)$$

2) Существует функциональная связь между значениями  $[n]$  и  $[P_\phi]$ , которая имеет вид:

$$P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) - [n] \cdot g_0(\bar{\chi}) > 0) = [P_\phi], \quad (20)$$

где параметры  $\bar{\chi}$  считаются распределенными равномерно по области  $D$ .

Доказательство этой теоремы, которая далее будет называться теоремой эквивалентности, представлено в работе [7]. Смысл теоремы эквивалентности заключается в том, что требование к обеспечению защищенности, выраженное через запас, может, при условии выполнения инвариантности нормализованного распределения  $G(\bar{Y}, \bar{\chi})$ , быть переписано в вероятностной постановке (как условие обеспечения защищенности по теории надежности). При этом назначенный запас  $[n]$  равен  $(1 - [P_\phi])$  – му квантилю нормализованной функции состояний  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$ .

$$(\text{т.к. } P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) - [n] \cdot g_0(\bar{\chi}) > 0) = [P_\phi] \Rightarrow P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi}) > [n]) = 1 - [P_\phi]).$$

Итак, достаточным условием выполнения равенства (20), является инвариантность нормированного распределения  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  по всей допустимой области  $D$  параметров проектирования  $\bar{\chi}$ . Поиск функции  $g_0(\bar{\chi})$ , обеспечивающей точное выполнение условия инвариантности является весьма сложной задачей. Однако, как правило, достаточно принять номинальную функцию в виде:  $g_0(\bar{\chi}) = g(E\{\bar{Y}\}, \bar{\chi})$ , чтобы условие инвариантности выполнялось приближенно.

Это объясняется тем, что даже если при варьировании параметров  $\bar{\chi}$  распределение  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  меняется весьма сильно, нормированное распределение величины  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  будет, во многих случаях, меняться незначительно, из-за взаимной компенсации изменений величин  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  и  $g_0(E\{\bar{Y}\}, \bar{\chi})$  при варьировании  $\bar{\chi}$  (т.е. величина  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g(E\{\bar{Y}\}, \bar{\chi}) \approx 1$ ) (см. рис. 4). Это будет происходить, в тех случаях, когда при варьировании  $\bar{\chi}$  будет существенно меняться только математическое ожидание величины  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$ , в то время как остальные моменты распределения изменяются незначительно.

Однако могут быть приведены примеры, когда при варьировании параметров  $\bar{\chi}$  характер распределения  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  будет меняться (например, изменяться дисперсия, или другие моменты распределения). В этом случае распределение нормированной величины  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  при варьировании параметрами  $\bar{\chi}$  уже не будет постоянным (рис. 5).



Легко проверить, что для рассмотренной в п.3.1 системы, имеющей функцию состояния  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$  вида (13), распределение нормированной функции состояния  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = \frac{\Sigma^3(\bar{Y}, \bar{\chi})}{\Sigma^c(\bar{Y}, \bar{\chi})} \bigg/ \frac{E\{\Sigma^3(\bar{Y}, \bar{\chi})\}}{E\{\Sigma^c(\bar{Y}, \bar{\chi})\}}$  будет инвариантно при варьировании параметров  $\bar{\chi}$ , в том случае если при этом среднеквадратичные отклонения  $S\{\Sigma^3(\bar{Y}, \bar{\chi})\}$  и  $S\{\Sigma^c(\bar{Y}, \bar{\chi})\}$  будут постоянны. Это подтверждает сделанный в п.3.1 вывод о наличии для данной системы взаимнооднозначного соответствия между  $[n]$  и  $[P_\phi]$ .

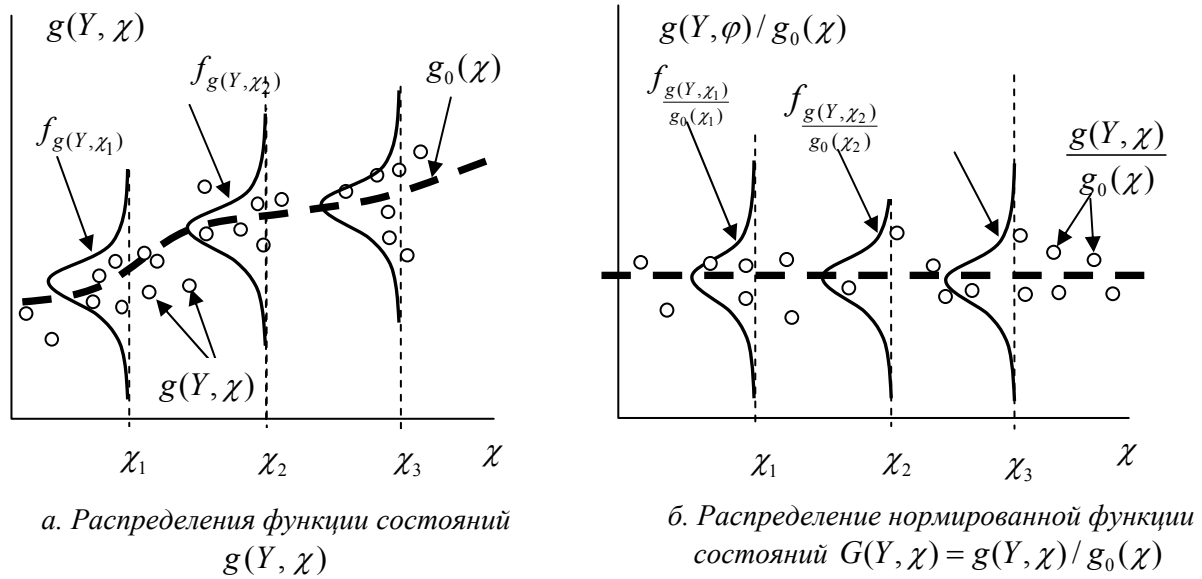


Рис. 4. Пример распределения функции состояний (а) и нормированной функции состояний (б) для случая, когда распределение нормированной функции состояний инвариантно при варьировании параметра  $\chi$

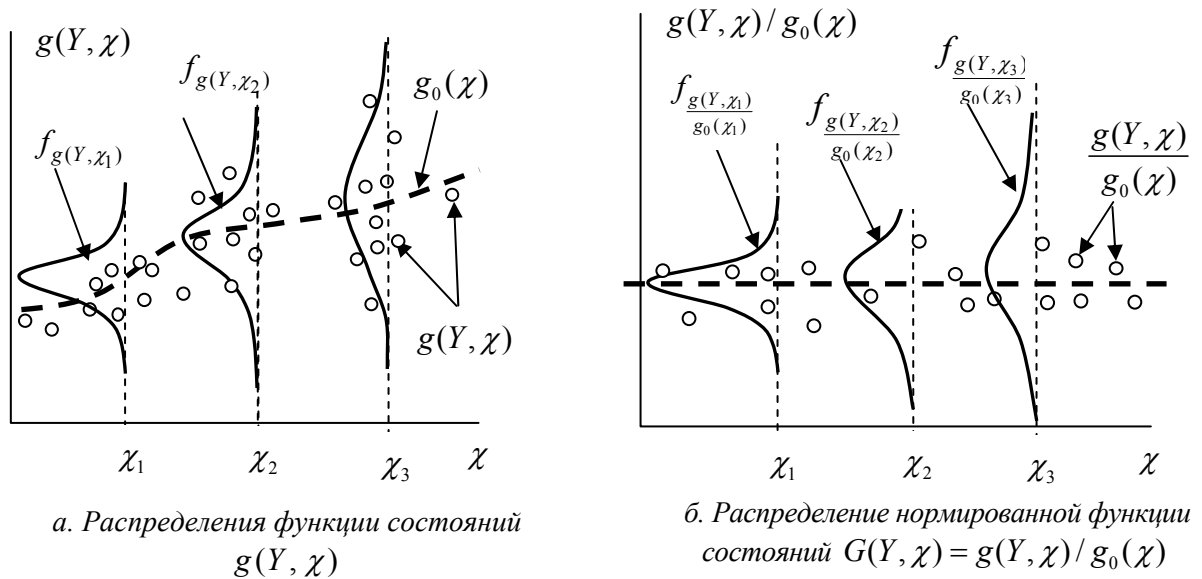


Рис. 5. Пример распределения функции состояний (а) и нормированной функции состояний (б) для случая, когда распределение нормированной функции состояний не инвариантно при варьировании параметра  $\chi$

### 3.3. Использование теоремы эквивалентности

В соответствии с теоремой эквивалентности, независимо от типа распределения функции состояния  $g(\bar{Y}, \bar{\chi})$ , условие обеспечения защищенности по критерию надежности (19), может быть заменено на условие обеспечения защищенности по критерию запаса (18), если распределение  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  является инвариантным по допустимой области  $D$  конструктивных параметров  $\bar{\chi}$ .

Рассмотрим две области пространства конструктивных параметров:

$\Omega_p \equiv \{ \bar{\chi} : P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) > 1 | \bar{\chi}) \leq [P_\phi] \}$  - область пространства конструктивных параметров, которая удовлетворяет условию обеспечения защищенности по критерию надежности.

$\Omega_n \equiv \{ \bar{\chi} : [n] \cdot g_0(\bar{\chi}) \leq 1 \}$  - область, в которой удовлетворяются условие обеспечения защищенности по критерию запаса.

Используя теорему эквивалентности, можно утверждать, что если распределение  $g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  является инвариантным по допустимой области конструктивных параметров  $D$ , то область  $\Omega_p$ , которая удовлетворяет требованию по надежности, и область  $\Omega_n$ , удовлетворяющая требованиям по запасу, оказываются идентичными.

Было бы полезно с помощью выражения (20) получить соотношение между  $[n]$  и  $[P_\phi]$ . Поскольку, наличие подобной зависимости (рис. 6) позволит заменить задачу проектирования по критерию надежности на задачу проектирования по критерию запаса: то есть по заданной предельно допустимой вероятности отказа  $[P_\phi]$  можно будет определить соответствующее необходимое значение нормативного запаса  $[n]$ .

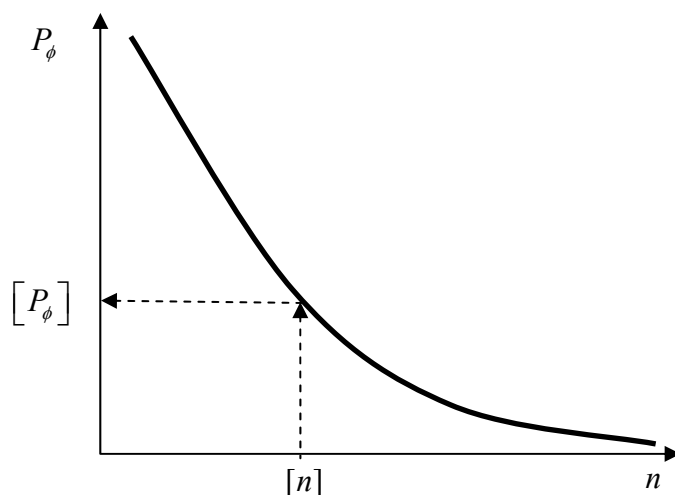


Рис. 6. Зависимость между запасом и вероятностью отказа

Поскольку условие (20) может быть переписано в виде:

$$P\left(\frac{g(\bar{Y}, \bar{\chi})}{g_0(\bar{\chi})} > [n]\right) = P(G(\bar{Y}, \bar{\chi}) > [n]) = [P_\phi],$$

где  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$ . Следовательно,  $[n]$  является  $(1 - [P_\phi])$ -ым квантилем случайной переменной  $G$ .

Для оценки зависимости  $[n]$  от  $[P_\phi]$  может быть предложена достаточно простая процедура, основанная на методе Монте Карло [7]. Пусть осуществляется выборка  $M$  пар значений  $(\bar{Y}, \bar{\chi})$ , где значения переменных  $\bar{Y}$  выбираются случайным образом с учетом их известных функций распределения, а значения параметров  $\bar{\chi}$  выбираются исходя из их равномерного распределения по области  $D$ :

$$\{(Y^{(1)}; \chi^{(1)}); (Y^{(2)}; \chi^{(2)}); \dots; (Y^{(M)}; \chi^{(M)})\}$$

В результате, используя метод Монте Карло, получив для заданного значения  $[n]$  множество значений  $\{G^{(1)}; G^{(2)}; \dots; G^{(M)}\}$ , можно оценить значение вероятности отказа  $[P_\phi]$ , соответствующее данному запасу  $[n]$ :

$$[P_\phi] \approx \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (G^{(i)} > [n]) = [\tilde{P}_\phi] \quad (21)$$

Далее варьируя величиной  $[n]$ , можно последовательно, применяя выражение (21), получить функциональную зависимость между  $[n]$  и  $[P_\phi]$ .

Например, если  $M = 10000$  и допустимая вероятность отказа  $[P_\phi] = 0,01$ , то соответствующий запас представляет собой значение из множества  $\{G^{(1)}; G^{(2)}; \dots; G^{(M)}\}$ , расположенное на  $0,01 \times M = 100$  –ом месте в порядке убывания величин  $G^{(i)}$ . Таким образом, одна и та же полученная методом случайной выборки последовательность  $\{G^{(1)}; G^{(2)}; \dots; G^{(M)}\}$  может быть последовательно использована для построения всей функциональной зависимости между  $[n]$  и  $[P_\phi]$ .

### 3.4. Использование соотношений между запасами и вероятностями отказов для случая множественных предельных состояний системы

Для сложных систем характерна множественность предельных состояний  $ПС_1, ПС_2, \dots, ПС_q$ . Поэтому при проектировании таких систем встает вопрос о рациональном выборе соотношений между предельными запасами  $[n_1], [n_1], \dots, [n_q]$  по различным механизмам достижения предельных состояний. При этом часто делают выбор в пользу равнонадежных систем, задавая равные предельно допустимые вероятности отказов по различным предельным состояниям  $[P_{пс1}] = [P_{пс2}] = \dots = [P_{псq}]$  и назначая, с учетом соотношений вида (20), предельно-допустимые запасы  $[n_1], [n_1], \dots, [n_q]$ , соответствующие условию равнонадежности (рис. 7). В таком подходе проектирование защищенных систем представляет собой итерационную процедуру, при котором конструктивные параметры варьируются до тех пор, пока не будет выполнено условие обеспечения защищенности вида (7) по всем идентифицированным предельным состояниям.

Следует отметить, что с точки зрения размещения ресурсов при обеспечении защищенности СТС проектирование систем при вероятностном подходе, позволяющем строить равнонадежные системы по различным механизмам достижения предельных состояний является более рациональным, чем обеспечение защищенности при нормативном подходе. Однако оно не является оптимальным, поскольку в этом случае не

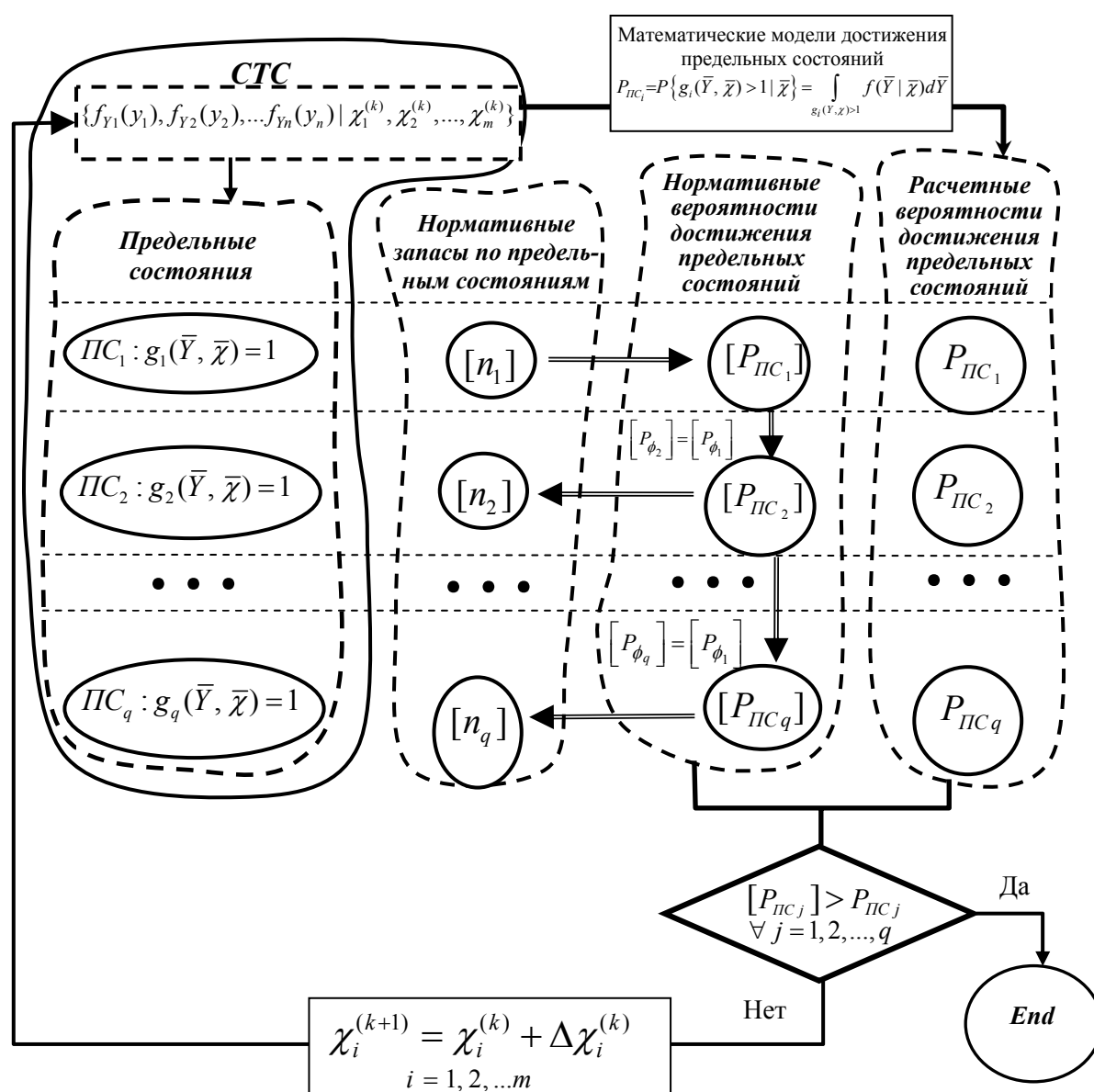


Рис. 7. Проектирование равнонадежных систем при множественных механизмах достижения предельных состояний

учитывается критичность отказов, связанных с достижением различных предельных состояний. Поэтому при проектировании СТС более эффективным является использование подходов, основанных на минимизации рисков, которые будут рассмотрены в п.4.

#### 4. Обеспечение защищенности по критерию риска

Разработка моделей теории рисков позволяют реализовать комплексный подход к обеспечению защищенности, учитывающий вероятность достижения предельных состояний и связанные с ним ущербы.

При этом проектируемая система считается защищенной, если расчетная величина экономического риска  $R_3$  оказывается меньше нормативного предельно допустимого значения  $[R_3]$ :

$$R_3 < [R_3]. \quad (22)$$

Здесь под экономическим риском понимается двухфакторный функционал вероятности отказа  $P_{\phi}(\bar{Y} | \bar{\chi})$  и последствий отказа системы  $U_{\phi}(\bar{Y} | \bar{\chi})$ , причем при оценке экономических рисков этот функционал выбирается в форме произведения указанных факторов:

$$R(\bar{Y} | \bar{\chi}) = P_{\phi}(\bar{Y} | \bar{\chi}) \cdot U_{\phi}(\bar{Y} | \bar{\chi}) \quad (23)$$

Вероятность достижения предельного состояния определяется согласно выражению (9) и оценивается с помощью методов теории надежности.

Калькуляция ущербов от отказов технических систем является отдельной задачей, решаемой с помощью специальных методик оценки ущербов при техногенных авариях [8]. Ущерб от достижения элементом системы предельного состояния и последующего отказа системы выражается в нарушении целостности системы или ухудшении других свойств; фактических или возможных экономических и социальных потерях (отклонение здоровья человека от среднестатистического значения, т.е. его болезнь или смерть; нарушение процесса нормальной хозяйственной деятельности; утрата того или иного вида собственности; ухудшение природной среды и т.д.), возникающих в результате отказа СТС. При рассмотрении последствий отказов СТС ущерб представляется в виде суммы прямого  $U_{\phi}^{np}$  и косвенного  $U_{\phi}^{koc}$  ущербов:

$$U_{\phi} = U_{\phi}^{np} + U_{\phi}^{koc}$$

Под *прямым ущербом* при отказе СТС понимаются потери и убытки населения, природной среды и всех структур народного хозяйства (в т.ч. самой системы), попавших в зону действия поражающих и вредных факторов аварии. Они определяются количеством погибших и пострадавших среди персонала и населения, невозвратных потерь основных фондов, оцененных природных ресурсов и убытков, вызванных этими потерями. *Косвенный ущерб* от отказа СТС – это потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут население, объекты природной среды и народного хозяйства, не попавшие в зону действия опасных факторов аварии, и которые вызваны нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей, инфраструктуре. Кроме того, это потери (дополнительные затраты), вызванные необходимостью проведения отдельных мероприятий по ликвидации последствий аварии.

Экономические риски в отличие от индивидуальных и социальных рисков, как правило, не нормируются государственными органами. Вопрос о выборе предельных значений экономического риска обычно решается на уровне организаций, эксплуатирующих СТС данного типа, с учетом требований страховых компаний. При этом, безусловно, должны учитываться такие факторы как значимость системы для жизнедеятельности страны, региона или местного сообщества, уровня социально-экономического развития страны, восприятия риска в обществе и т.д. Величина  $[R_3]$  определяет значение экономического риска, с которым общество готово мириться ради тех благ, которые оно получает с помощью эксплуатируемой системы. Существуют различные подходы к определению величины допустимого риска. Так, например, в Голландии для таких гидротехнических сооружений как дамбы законодательно установлена величина допустимого экономического риска  $[R_3] = 1 \cdot 10^4 \text{ долл/год}$ . Практика страховых компаний США предполагает выбор в качестве  $[R_3] = C / T_L \times 20\% \text{ долл/год}$ , где  $C$  - стоимость объекта,  $T_L$  - срок его эксплуатации. С другой стороны, величина предельно допустимого экономического риска может оцениваться как произведение нормативной предельно допустимой вероятности отказа  $[P_{\phi}]$ , установленной для сис-

тем данного типа по выражению (11), и, определенной доли ( $\alpha$ ) стоимости  $C$  объекта<sup>3</sup>:  $[R_{\mathcal{O}}] = [P_{\phi}] \cdot \alpha \cdot C$ . Кроме того, допустимый риск может оцениваться как отношение величины некоторого критического риска  $R_{\mathcal{O}}^C$ , при котором наступает банкротство компании, эксплуатирующей систему, и выбранного коэффициента запаса по рискам  $n_R$  [9].

$$[R_{\mathcal{O}}] = R_{\mathcal{O}}^C / n_R$$

Величина расчетного экономического риска  $R_{\mathcal{O}}$ , связанного с эксплуатацией системы, определяется как математическое ожидание ущерба:

$$R_{\mathcal{O}} = E\{U\} = \int_0^{\infty} u f_U(u) du, \quad (24)$$

где  $f_U(u)$  - плотность распределения ущерба. Получить аналитическое выражение, задающее функцию плотности распределения ущерба для сложных систем, не представляется возможным. Поэтому для оценки ущербов и рисков используются методы дискретизации, предусматривающие выделение конечного множества сценариев развития аварии и калькуляцию ущербов, соответствующих каждому из сценариев.

Для характеристики экономического риска, связанного с эксплуатацией рассматриваемой системы, часто используется, так называемая, *FD*-кривая, которая представляет собой построенную в двойных логарифмических координатах зависимость:

$$FD(u) = P(U > u),$$

где  $P(U > u)$  вероятность превышения случайной величиной  $U$  - «ущерб от отказа системы» текущего значения ущерба  $u$ . Очевидно, что *FD*-кривая может быть определена через функцию плотности вероятности распределения ущерба  $f_U(u)$ :

$$FD(u) = 1 - F_U(u) = P(U > u) = \int_u^{\infty} f_U(u) du$$

Для построения *FD*-кривой для рассматриваемой системы необходимо провести сценарный анализ, определить вероятности реализации различных сценариев и соответствующие им ущербы. Затем идентифицированные сценарии сортируются в порядке возрастания тяжести ущерба, после чего для уровня ущерба, соответствующего каждому из сценариев, подсчитывается вероятность превышения этого уровня.

Легко показать, что величина экономического риска  $R$  равна площади  $A$  под *FD*-кривой (рис. 8). Действительно:

$$A = \int_0^{\infty} (1 - F_U(u)) du = \int_0^{\infty} \int_u^{\infty} f_U(x) dx du = \int_0^{\infty} \int_u^x f_U(u) du dx = \int_0^{\infty} x f_U(x) dx = E\{U\}$$

Важно отметить, что величина ущерба при достижении предельного состояния не является детерминированной, причем основная доля ущерба, связана не с отказом элемента системы, достигшим предельного состояния. Для сложных систем достижение предельного состояния не приводит к немедленному разрушению системы в целом. По сути, факт достижения предельного состояния инициирует ветвь сценарного дерева, которая состоит из группы сценариев и описывает закритическое поведение системы (возможности перераспределения нагрузок, наличия резервирования, срабатывание систем защиты и аварийного останова и т.д.). Поэтому для оценки величины ущерба, который может наступить после достижения предельного состояния, необходимо проанализировать сценарии  $S_j$

<sup>3</sup> Косвенные ущербы, связанные с невыполнением системой предписанных ей функций, учитываются с помощью коэффициента социальной значимости системы, который входит в выражение (11)

закритического поведения системы (рис. 9), которые инициируются после достижения предельного состояния  $ПС_i$ , то есть оценить вероятности реализации различных конечных состояний  $КС_i$  и их последствия  $U(КС_i)$  как для самой системы, так и окружающей среды.

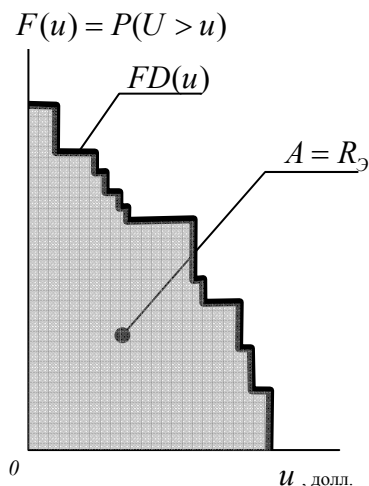


Рис. 8.  $FD$ -кривая экономического риска

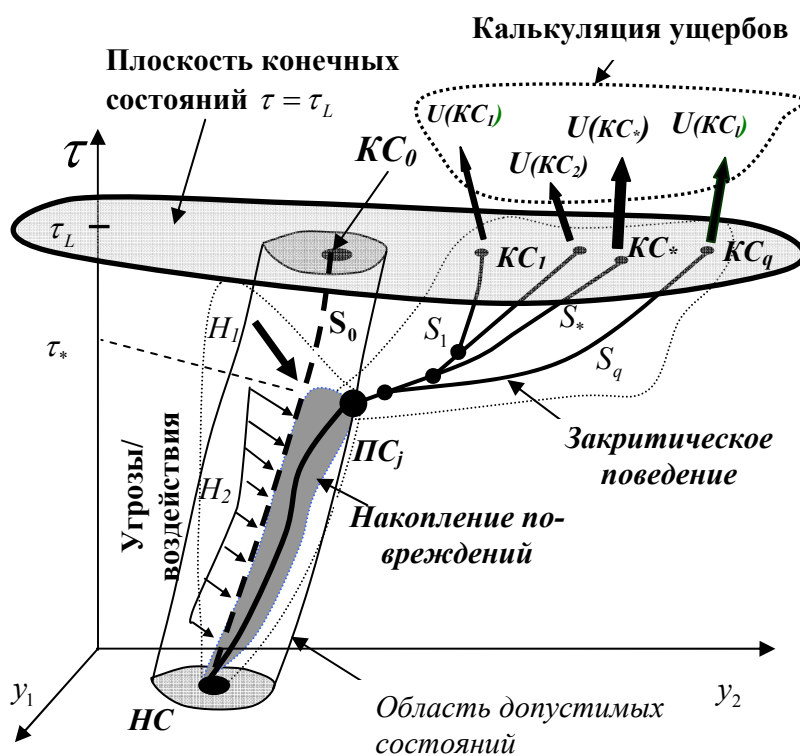


Рис. 9. Сценарный анализ СТС на этапе накопления повреждений и закритического поведения

НС – начальное состояние системы;  $S_0$  – сценарий успешного выполнения системой своих функций;  $KC_0$  – заданное конечное состояние СТС,  $\varepsilon_L$  – окрестность точки  $KC_0$ , в которой конечные состояния можно считать неповрежденными;  $H_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) воздействия на систему,  $PC_j$  ( $j=1,2,\dots,q$ ) – предельные состояния,  $S_k$  ( $k=1, 2, \dots,l$ ) – сценарии отказа, реализующиеся после достижения предельных состояний;  $KC_k$  ( $k=1,2, \dots,l$ )–поврежденные конечные состояния системы, соответствующие сценариям  $S_k$ ;  $U(KC_k)$  ( $k=1,2, \dots,l$ ) – ущербы, соответствующие конечным состояниям  $KC_k$

Для описания процессов достижения предельных состояний и сценариев закритического поведения технической системы используют сценарные деревья (рис. 9), которые могут быть проанализированы с помощью специальных графовых моделей, (деревьев событий, деревьев отказа, байесовых сетей) и обобщенно представлены с помощью матричного выражения:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} P(KC_0) \\ P(KC_1) \\ \dots \\ P(KC_n) \end{pmatrix}}_{\overline{KC}} = \underbrace{\begin{bmatrix} P(KC_0 | PC_1) & P(KC_0 | PC_2) & \dots & P(KC_0 | PC_m) \\ P(KC_1 | PC_1) & P(KC_1 | PC_2) & \dots & P(KC_1 | PC_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(KC_q | PC_1) & P(KC_q | PC_2) & \dots & P(KC_q | PC_m) \end{bmatrix}}_{[V_s]} \times \left( \underbrace{\begin{bmatrix} P(PC_1 | H_1) & P(PC_1 | H_2) & \dots & P(PC_1 | H_n) \\ P(PC_2 | H_1) & P(PC_2 | H_2) & \dots & P(PC_2 | H_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(PC_m | H_1) & P(PC_m | H_2) & \dots & P(PC_m | H_n) \end{bmatrix}}_{[V_e]} \times \underbrace{\begin{pmatrix} P(H_1) \\ P(H_2) \\ \dots \\ P(H_n) \end{pmatrix}}_{\overline{H}} \right) \underbrace{\begin{pmatrix} P(PC_1) \\ P(PC_2) \\ \dots \\ P(PC_m) \end{pmatrix}}_{\overline{PC}}$$

$[V_s]$  - матрица структурной уязвимости, компонентами которой являются условные вероятности достижения системой различных конечных состояний  $KC_i$  в случае реализации предельных состояний  $PC_j: V(k; j) = P[KC_k | PC_j]$ . Эта матрица характеризует закритическое поведение системы.

$[V_e]$  - матрица достижения предельных состояний (матрица локальной уязвимости системы, матрица накопления повреждений), компонентами которой являются условные вероятности достижения предельных состояний  $PC_j$  при различных экстремальных воздействиях  $H_i: V(j; i) = P[PC_j | H_i]$ . Эта матрица характеризует этап деградации и накопления повреждений.

$\overline{H}$  - вектор угроз, компонентами которого являются вероятности осуществления различных воздействий на систему (экстремальные однократные воздействия, циклические воздействия, температурные воздействия, воздействия агрессивных сред и т.д.)  $H(i) = P(H_i)$ . Для учета нелинейных эффектов при комбинированном (многофакторном) воздействии вектор  $\overline{H}$  может включать дополнительные компоненты, отражающие синергетические эффекты (усиление от взаимного воздействия).

$\overline{PC} = [V_e] \cdot \overline{H}$  - вектор-столбец предельных состояний, компоненты которого являются вероятности достижения предельных состояний:  $PC(j) = P(PC_j)$

$\overline{KC} = [V_s] \cdot \overline{PC}$  - вектор-столбец конечных состояний системы, компоненты которого являются вероятности реализации различных поврежденных состояний  $KC_q$ :  $KC(k) = P(KC_k)$ .

$\overline{U}$  - вектор-столбец ущербов, компонентами которого являются ущербы, которые будут иметь место при реализации различных конечных состояний.

Проведенный анализ позволяет оценить величину экономического риска, связанного с эксплуатацией системы, который будет определяться выражением:

$$R = \left\{ \begin{bmatrix} P(KC_0 | PC_1) & P(KC_0 | PC_2) & \dots & P(KC_0 | PC_q) \\ P(KC_1 | PC_1) & P(KC_1 | PC_2) & \dots & P(KC_1 | PC_q) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(KC_l | PC_1) & P(KC_l | PC_2) & \dots & P(KC_l | PC_q) \end{bmatrix} \times \left( \begin{bmatrix} P(PC_1 | H_1) & P(PC_1 | H_2) & \dots & P(PC_1 | H_n) \\ P(PC_2 | H_1) & P(PC_2 | H_2) & \dots & P(PC_2 | H_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(PC_q | H_1) & P(PC_q | H_2) & \dots & P(PC_q | H_n) \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} P(H_1) \\ P(H_2) \\ \dots \\ P(H_n) \end{pmatrix} \right) \right\} \times \begin{pmatrix} U(KC_0) \\ U(KC_1) \\ \dots \\ U(KC_l) \end{pmatrix}$$

Следует отметить, что, умножив левую и правую часть выражения (20) на некоторый предельный ущерб  $U_*$ , который устанавливается равным определенной доли  $\alpha$  стоимости  $C$  системы  $U_* = \alpha \cdot C$  (например, часто выбирают  $\alpha = 20\%$ ), можно запи-



сать соотношение (24), которое аналогично выражению эквивалентности нормативного и вероятностного подходов, и определяет эквивалентность нормативного подхода и подхода, основанного на управлении риском, при условии, что нормированное распределение функции предельных состояний  $G(\bar{Y}, \bar{\chi}) = g(\bar{Y}, \bar{\chi}) / g_0(\bar{\chi})$  является инвариантным по всей допустимой области параметров проектирования  $D$ .

$$P(g(\bar{Y}, \bar{\chi}) - [n] \cdot g_0(\bar{\chi}) > 0) \cdot U_* = [R_\phi] \quad (25)$$

В общем случае, это соотношение устанавливает некоторую оценочную зависимость между допустимым экономическим риском  $[R_\phi] = [P_\phi] \cdot U_*$  и нормативным запасом  $[n]$ , которая выполняется точно при условии соблюдения требования инвариантности нормированного распределения  $G(\bar{Y}, \bar{\chi})$ .

В рассмотренном ранее нормативном и вероятностном подходах критичность отказов учитывается неявно путем увеличения нормативных запасов для опасных технических систем (при нормативном подходе) и введения коэффициента социальной значимости  $\xi_s$  (при вероятностном подходе). К достоинствам основанного на оценке риска подхода следует отнести то, что он позволяет учитывать критичность отказов в явном виде. Кроме того, этот подход позволяет достаточно легко перейти к случаю множественных механизмов достижения предельных состояний и рассматривать закритическое поведение СТС после отказов их отдельных элементов.

Влияние человеческого фактора, которое при нормативном и вероятностном подходах учитывается весьма грубо (путем увеличения запасов  $n_i$  или введения специального коэффициента  $k_{HF}$  в выражение для оценки  $[P_\phi]$ , соответственно), в случае основанного на управлении риском подхода может описываться более точно: с помощью введения специальных узлов графовых моделей, описывающих действия и состояния операторов (если используются модели учета человеческого фактора первого поколения) или создания многоуровневых оценок риска в техносотциальных системах (модели второго поколения) [10].

Итерационная процедура поиска обеспечения защищенности СТС по критерию риска представлена на рис. 10.

Важно иметь в виду, что экономический риск, связанный с функционированием СТС, представляет собой интегральный показатель, характеризующий вероятность наступления неблагоприятных событий и размер ущерба при их наступлении. При оценке экономических ущербов учитываются также и экономические потери, связанные с возможной гибелью операторов (персонала и населения прилегающих территорий). То есть, показатель экономического риска включает в себя и различные аспекты индивидуального и социального рисков. Это обстоятельство и позволяет во многих случаях ограничиваться проверкой условиям непревышения предельного допустимого экономического риска при оценке защищенности объекта. Однако необходимо иметь в виду, что в более общей постановке, обеспечение защищенности по критерию риска требует помимо выполнения условия (22), которое учитывает, преимущественно, экономические аспекты опасных событий, связанных с эксплуатацией рассматриваемой СТС, также и соблюдения требований, касающихся непревышения индивидуальных рисков  $R_i$  для операторов и персонала СТС установленного предельно допустимого значения индивидуального риска  $[R_i]$ ,

а также нахождения  $FN(n)$  кривой социального риска, построенной для рассматриваемой системы, в установленной законодательно в соответствии с принципом практической целесообразности (англ. ALARP principle) области приемлемого социального риска (рис. 11). В этой постановке, обеспечение защищенности по критерию риска предполагает одновременное выполнение следующего комплекса условий:

$$\begin{cases} R_{\vartheta} < [R_{\vartheta}] \\ R_l < [R_l] \\ FN(n) - [R_s(n)] < 0 \quad \forall n \in \{1, 2, 3, \dots\} \end{cases} \quad (26)$$

Вопросы нормирования и регулирования индивидуальных и социальных рисков значительно лучше проработаны, чем это имеет место для экономических рисков (см., например, [11,12,13]).

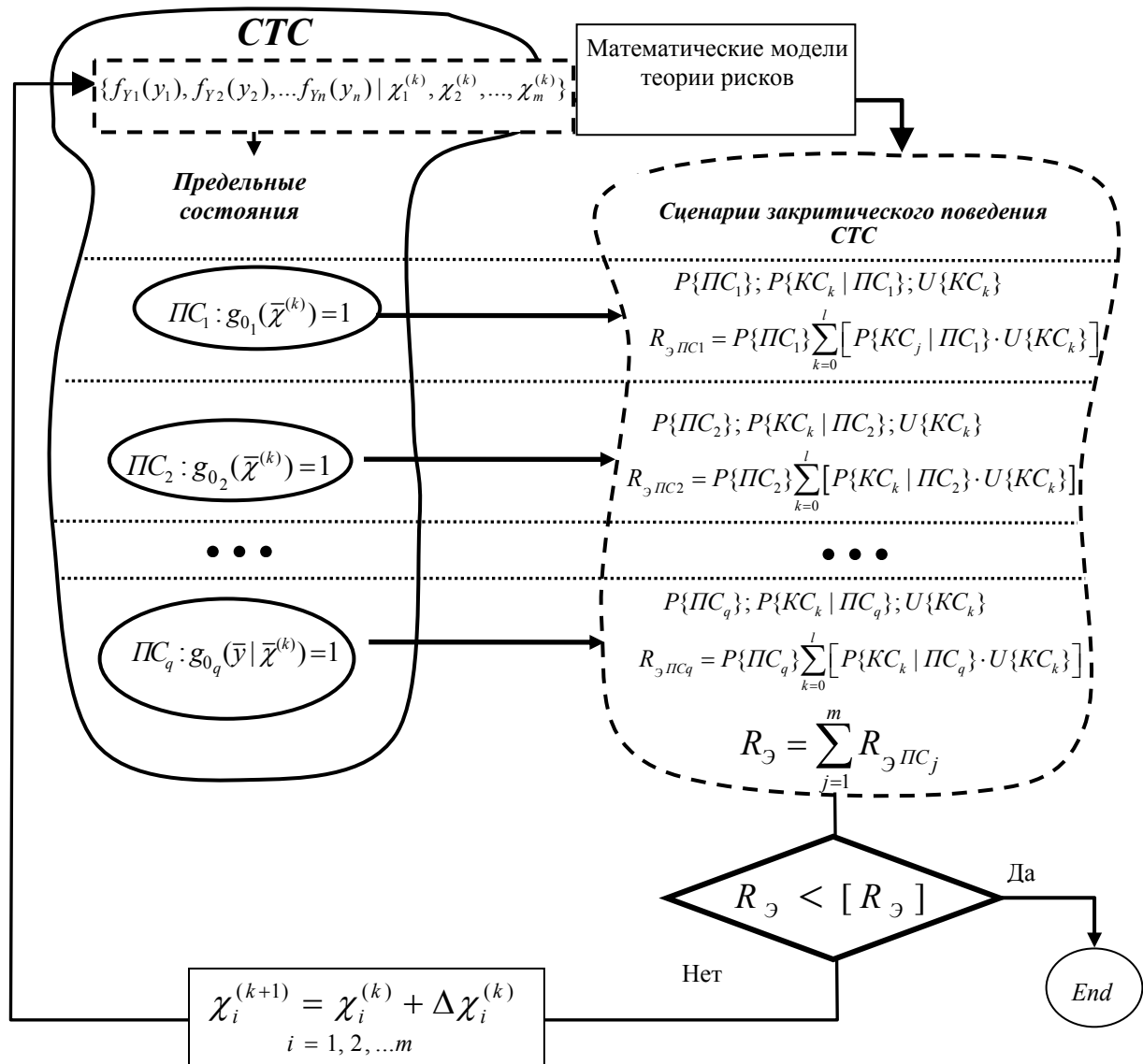


Рис. 10. Процедура обеспечения защищенности по критерию риска

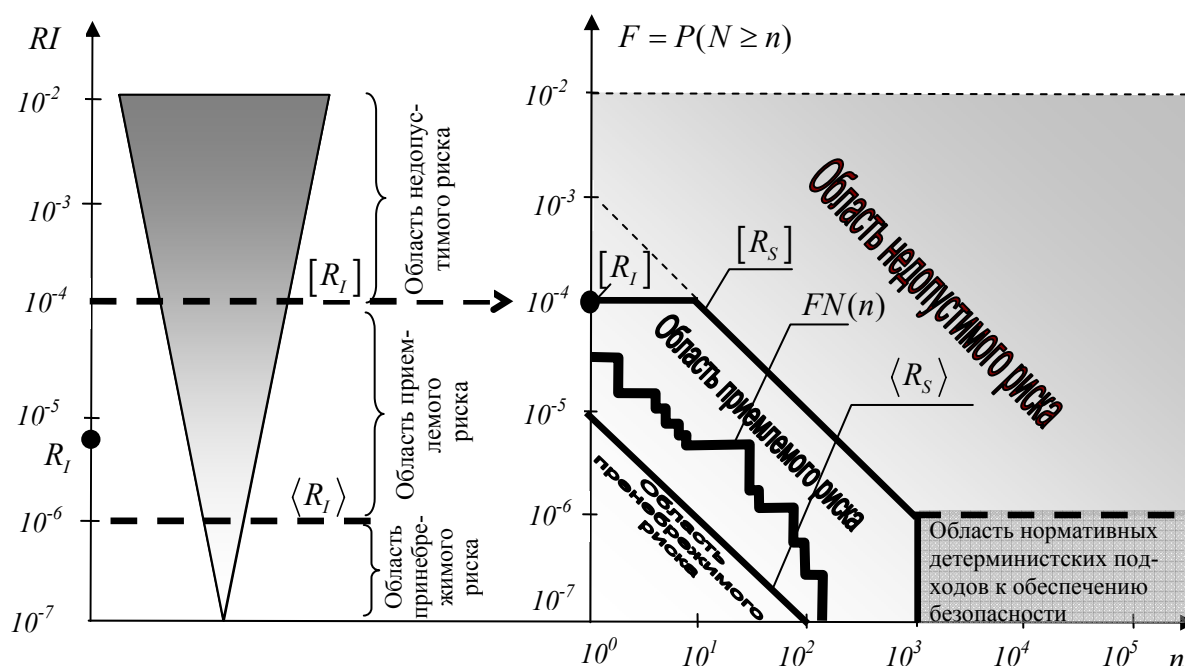


Рис. 11 Характеристики индивидуального и социального риска при нормировании защищенности сложных технических систем

$[R_I]$  и  $\langle R_I \rangle$  - нормативные значения предельно допустимого и пренебрежимого индивидуального риска,  
 $[R_S]$  и  $\langle R_S \rangle$  - критериальные линии предельно допустимого и пренебрежимого социального риска  
 $FN(n)$  - расчетная кривая социального риска для рассматриваемой системы

В заключение необходимо отметить, что обеспечение защищенности СТС по критерию рисков имеет ряд преимуществ по сравнению с нормативным и вероятностным подходами, поскольку они позволяют:

- 1) При оценке защищенности системы в явной форме учитывать критичность отказов.
- 2) Оценивать защищенность на системном уровне, учитывая способность СТС функционировать при наличии локальных повреждений.
- 3) Учитывать множественность механизмов достижения предельных состояний.
- 4) В более строгой форме учитывать влияние человеческого фактора на надежность технических систем с помощью гибридных многоуровневых моделей.
- 5) Оптимизировать в процессе обеспечения защищенности суммарные затраты жизненного цикла СТС с учетом стоимости затрат на обеспечение защищенности и рисков аварий.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №10-08-00989.**

## Литература

1. Махутов Н.А., Резников Д.О. Сопоставительная оценка нормативного и основанного на управлении риском подходов к оценке защищенности сложных технических систем//Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2011 №6, с.92-98
2. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Нормативные и вероятностные подходы к обеспечению защищенности критически важных объектов// Безопасность в техносфере. - 2011 г. №4 с. 5-12
3. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Новосибирск. Наука. - 2005. В 2 ч. Часть 1. Критерии прочности и ресурса. 494 с. Часть 2 Обоснование ресурса и безопасности. 620 с.
4. Elishakoff I., Safety Factors and Reliability: Friends or Foes?, Kluwer. Academic Publishers, Dordrecht. - 2004.

5. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П., Куксова В.И. Обеспечение защищенности и минимизация общих эксплуатационных затрат и ущербов в течение жизненного цикла критически важных объектов путем выбора оптимальной стратегии проведения технических инспекций и ремонта//Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2010, №3.
6. Ang A., Tang. W. Probability concepts in Engineering Planning and Design. Volume 1. Basic Principles. John Wiley & Sons, Inc. US. - 1975. V.1. 407.
7. Ching, J., Equivalence between reliability and factor of safety, Probabilistic Engineering Mechanics, 24(2), 159-171. - 2009.
8. Шойгу С.К., Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Шахрамьян М.А. Безопасность России. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера МГФ “Знание”. - 1999
9. Махутов Н.А., Шульц В.Л. Стратегические техногенные риски в проблемах национальной безопасности// Национальная безопасность. №3, 2011, стр. 4-28.
10. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Петров В.П., Резников Д.О. и др. Безопасность России. Человеческий фактор в проблемах безопасности. М. МГФ Знание. - 2008 г. 687 стр.
11. Bowles D.S. – Tolerable risk guidelines for dams: Principles and applications. Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management- Escuder-Bueno et al. (eds). Taylor & Francis Group. London. - 2011
12. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка и нормирование рисков, связанных с эксплуатацией сложных технических систем// Безопасность в техносфере. №5, 2012 (в печати).
13. Махутов Н.А., Резников Д.О., Петров В.П. Использование принципа практической целесообразности при нормировании индивидуального риска // Безопасность в техносфере. №6, 2012 (в печати).

### Сведения об авторах

**Николай Андреевич Махутов**, - д.т.н., главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А.Благонравова, РАН, тел. (499) 135 7771; email: mibsts@mail.ru. Адрес: 101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4.

**Дмитрий Олегович Резников**, - ведущий научный сотрудник Института машиноведения им. А.А.Благонравова, РАН, тел. (495) 623 5835, 8-916 663 1146, email: ImashReznikoff@yandex.ru. Адрес: 101990, г. Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4.

УДК 614.841

## ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

**А.В. Фирсов**, доктор техн. наук., профессор **Г.Х. Харисов**

**Академия Государственной противопожарной службы МЧС России**

*Вероятностный анализ, матричное исчисление и имитационное моделирование использованы для уточнения методики расчета индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности.*

**Ключевые слова:** индивидуальный пожарный риск, нормативный пожарный риск, распределение риска.

## CALCULATION OF AN INDIVIDUAL FIRE RISK IN BUILDINGS, STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS OF VARIOUS CLASSES OF FUNCTIONAL FIRE HAZARD

*A.V. Firsov, Dr. (Tech), professor G.H. Harisov*

**Academy of The State Fire Protection Service of The Russian Federation EMERCOM**

*Probabilistic risk assessment, computing matrix and test simulation were used to correct the existing method of calculating of an individual fire risk in buildings, structures and constructions of various classes of functional fire hazard.*

**Key words:** individual fire risk, regulated fire risk, risk distribution.

### Введение

В последнее время на различных научных и практических конференциях затрагиваются вопросы, связанные с методологией оценки пожарных рисков на различных объектах. В частности, круглый стол по теме «Развитие методов оценки пожарного риска и математического моделирования пожаров» в рамках салона «Комплексная безопасность», был проведен 24 мая 2012 года на ВВЦ в г. Москве. На этом круглом столе были представлены доклады, касающиеся расчетных величин пожарного риска, определение которых изложены в «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (утверждена приказом МЧС России от 30.06.09, №382; зарегистрирована в Минюсте РФ от 06.08.09, №14486). В этих докладах отмечена необходимость дальнейшего совершенствования указанной методики в части более полного и корректного учета различных аспектов пожарной безопасности объектов.

Детальный анализ этой методики показал, что расчетная величина индивидуального пожарного риска завышается в сотни или даже в тысячи раз по сравнению с действительным состоянием пожарной опасности объекта. В свою очередь, нормативное значение индивидуального пожарного риска регламентируется статьей 79 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ №123 от 22.07.08) и составляет одну миллионную в расчете на одного человека в год. Завышенные индивидуальные пожарные риски в различных зданиях и сооружениях, полученные при использовании указанной методики, превышают нормативное значение индивидуального пожарного риска и, как результат, требуют дополнительных затрат на обеспечение пожарной безопасности объекта с целью снижения индивидуального (завышенного) пожарного риска до нормативного. Таким образом, владельцу объекта предписывается обеспечивать пожарную безопасность на более высоком уровне, чем это требует статья 79 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности». В статье показано, каким образом происходит завышение индивидуального пожарного риска при использовании методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях, и скорректирована содержащаяся в ней формула для расчета индивидуального пожарного риска.

### 1. Анализ формулы для расчета индивидуального пожарного риска

В техническом регламенте [1], в статье 2, п.9 дано понятие индивидуального пожарного риска: индивидуальный пожарный риск - пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара. В п.28 этой же статьи дано понятие пожарного риска: пожарный риск - мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и её последствий для людей и материальных ценностей. В методике [2]

приведены формулы для вычисления индивидуального пожарного риска в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1- Ф4.4. В законе [3] сформулировано понятие риска: риск- вероятность причинения вреда жизни и здоровью граждан, имуществу физических и юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для людей в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара (далее ОФП) на человека, находящегося в здании. Перечень ОФП установлен статьей 9 технического регламента [1].

Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании.

Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если:

$$Q_B \leq Q_B^H, \quad (1)$$

где  $Q_B^H$  – нормативное значение индивидуального пожарного риска,

$$Q_B^H = 10^{-6} \text{ 1/год (статья 79 [1]);}$$

$Q_B$  – расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска  $Q_B$  в каждом здании рассчитывается по формуле:

$$Q_B = Q_{II} \cdot (1 - R_{ан}) \cdot P_{пр} \cdot (1 - P_э) \cdot (1 - P_{пз}), \quad (2)$$

где  $Q_{II}$  – частота возникновения пожара в здании в течение года, определяется на основании статистических данных, приведенных в приложении №1 к методике [2].

$R_{ан}$  – вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения (далее АУПТ). Значение параметра  $R_{ан}$  определяется технической надежностью элементов АУПТ, приводимых в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать  $R_{ан} = 0,9$ . При отсутствии в здании систем автоматического пожаротушения  $R_{ан}$  принимается равной нулю;

$P_{пр}$  – вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения  $P_{пр} = t_{функц} / 24$ , где  $t_{функц}$  – время нахождения людей в здании в часах за сутки;

$P_э$  – вероятность эвакуации людей (рассчитывается по формуле 3 методики [2]);

$P_{пз}$  – вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

Вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты  $P_{пз}$ , направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей, рассчитывается по формуле:

$$P_{пз} = 1 - (1 - R_{обн} \cdot R_{соуэ}) \cdot (1 - R_{обн} \cdot R_{пдз}), \quad (3)$$

где  $R_{обн}$  – вероятность эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации. Значение параметра  $R_{обн}$  определяется технической надежностью элементов системы пожарной сигнализации, приводимых в технической документации. При отсутствии сведений по параметрам технической надежности допускается принимать  $R_{обн} = 0,8$ ;

$R_{соуэ}$  – условная вероятность эффективного срабатывания системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации;

$R_{\text{ПДЗ}}$  - условная вероятность эффективного срабатывания системы противодымной защиты в случае эффективного срабатывания системы пожарной сигнализации.

Порядок оценки параметров  $R_{\text{обн}}$ ,  $R_{\text{соуэ}}$  и  $R_{\text{ПДЗ}}$  приведен в разделе IV методики [2].

Рассмотрим пример №1

Вычислить  $Q_B$  для гостиницы на  $N_H=400$  мест, расположенной в высотном здании при следующих условиях:

$$Q_{\text{П}} = 3,255 \cdot 10^{-4} \cdot 400 = 0,130200 \frac{1}{\text{год}};$$

где  $3,255 \cdot 10^{-4}$  – частота возникновения пожара в течение года в расчете на одно место [2];

$$R_{\text{ан}} = 0,900000;$$

$$P_{\text{пр}} = 18/24 = 0,750000;$$

$$P_{\text{с}} = 0,999000;$$

$$R_{\text{обн}} = 0,800000;$$

$$R_{\text{соуэ}} = 0,800000;$$

$$R_{\text{ПДЗ}} = 0,800000.$$

Решение

1. По формуле (3):

$$P_{\text{нз}} = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8) \cdot (1 - 0,8 \cdot 0,8) = 0,870400$$

По формуле (2):

$$Q_B = 0,130200 \cdot (1 - 0,900000) \cdot 0,750000 \cdot (1 - 0,999000) \cdot (1 - 0,870400) = 1,3 \cdot 10^{-6}$$

Трудно представить более пожаробезопасный объект, чем описанная выше гостиница, и тем не менее:

$$Q_B > Q_B^H, \quad 1,3 \cdot 10^{-6} > 1 \cdot 10^{-6}$$

Таким образом, в соответствии с формулой (2), безопасность людей в гостинице не соответствует требованию статьи 79 технического регламента [1]. Дело в том, что индивидуальный пожарный риск, вычисляемый по формуле (2), завышает вероятность воздействия ОФП на человека при пожаре, так как статические данные о частоте возникновения пожаров в зданиях, приведенные в приложении №1 к методике [2], охватывают все пожары, включая и те, на которых люди не подвергались воздействию ОФП. А таких пожаров - подавляющее большинство. Фактически по формуле (2) вычисляется не индивидуальный пожарный риск (риск воздействия на человека ОФП), а риск возникновения и развития любого пожара, в том числе как с воздействием ОФП на человека, так и без воздействия.

Кроме того, даже если в формуле (2)  $Q_{\text{П}}$  будет учитывать только те пожары, на которых ОФП воздействовали на людей, вычисляемое значение  $Q_B$  представляет собой не индивидуальный пожарный риск, а сумму индивидуальных пожарных рисков, то есть формула (2) завышает индивидуальный пожарный риск в  $N_H$  раз, где  $N_H$  – номинальное число людей в здании.

Это видно из следующего примера № 2.

Вычислить  $Q_B$  для гостиницы на  $N_H = 400$  мест, расположенной в высотном здании при следующем сценарии пожара, при котором реализуются наихудшие условия для

обеспечения безопасности людей (п.3 изменений [10]). Этот сценарий не является результатом теракта, поджога, хранения горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта и т.д. Сценарии пожара, не реализуемый при нормальном режиме эксплуатации объекта, методикой [2] не рассматриваются.

$$Q_{II} = 1 \text{ год}^{-1};$$

$$R_{ан} = 0;$$

$$P_{пр} = 0,75;$$

$$P_{з} = 0;$$

$$R_{обн} = 0;$$

$$R_{соуэ} = 0;$$

$$R_{ИДЗ} = 0.$$

Решение

1. По формуле (3):

$$P_{пз} = 1 - (1 - 0 \cdot 0) \cdot (1 - 0 \cdot 0) = 0$$

По формуле (2):

$$Q_{в} = 1 \cdot (1 - 0) \cdot 0,75 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 0,75$$

Таким образом, индивидуальный пожарный риск  $Q_{в}=0,75$ , то есть первый же пожар в гостинице приводит к тому, что вероятность воздействия ОФП на любого человека равна 0,75. Другими словами, 75% людей при пожаре в гостинице подвергаются воздействию ОФП. На остальных 25% людей ОФП не воздействуют только благодаря тому, что они в момент возникновения пожара не находились в гостинице. С учётом п. 5 методики [2], в соответствии с которым частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании, наихудшим результатом воздействия ОФП на человека может быть его смерть. Статья 79 технического регламента [1] также отождествляет индивидуальный пожарный риск с риском гибели людей в результате воздействия ОФП. В дальнейшем под  $Q_{в}$  будем понимать риск гибели отдельно взятого человека (индивидуума) в результате воздействия на него ОФП. Тогда математическое ожидание  $N_{II}$  числа погибших людей в гостинице составляет:

$$N_{II} = Q_{в} \cdot N_{II} = 0,75 \cdot 400 = 300 \text{ чел.}$$

Таким образом, в соответствии с формулой (2), 75% людей в гостинице в худшем случае погибают при первом же пожаре. В лучшем случае все они будут травмированы в разной степени тяжести в результате воздействия на них ОФП.

Однако, на самом деле, даже при таких крайне жестких условиях, принятых в примере №2, ОФП могут не воздействовать на людей в гостинице по следующим причинам, которые не учитываются формулой (2):

- пожар может быть потушен постояльцами гостиницы или обслуживающим персоналом штатными или подручными средствами пожаротушения;
- люди могут спастись при помощи штатных (СИЗОД типа «Феникс», канатно-спускные устройства) или подручных средств (веревки, смоченные простыни, полотенце и т.п.);
- пожар может быть потушен подразделениями пожарной охраны до того момента, когда ОФП начнут воздействовать на людей;



- люди могут быть спасены подразделениями пожарной охраны различными способами и средствами;
- конструктивные особенности здания и пожарная нагрузка могут быть такими, что пожар локализуется в некотором объеме здания с последующим самозатуханием;
- по другим причинам, связанным с конкретным пожаром, конкретным конструктивным и объемно - планировочным решением здания и его контингентом.

В зарубежной нормативно-правовой документации, например, в Британском стандарте [4], описанные ситуации специально оговорены в п.3.1.2 и 6.4:

«п.3.1.2. Многие пожары, даже возникшие в результате поджога, могут погаснуть или быть потушены, прежде чем они станут представлять существенную опасность для жизни людей или имущества».

«п.6.4. ... Однако есть шанс, что огонь остановится на определенной стадии по разным причинам и будет потушен до его дальнейшего распространения. Статистика реальных пожаров подтверждает данную гипотезу».

## 2. Анализ статистики гибели людей при пожарах

Статистические данные (табл.1) опровергают прогноз, полученный в решении примера №2 с использованием формулы (2).

В первых двух колонках табл.1 представлены статистические данные по гибели людей при пожарах в Российской Федерации за 2009 - 2011 годы. На основании этих данных вычислены доли соответствующих пожаров (колонка 3), число людей, погибших при пожарах (колонка 4), математическое ожидание числа людей погибших при одном пожаре (колонка 5), число пожаров с гибелью соответствующего числа людей (колонка 6).

Число людей  $N$ , погибших при одном пожаре, есть случайная величина. Она может принимать значения  $0, 1, 2, 3, \dots, N_n$ . Из 178542 пожаров, 167674 завершились без гибели людей, что составляет 93,9129% всех пожаров. С гибелью ровно одного человека при одном пожаре завершились 9244 пожаров, что составляет 5,1775% всех пожаров, при этом погибло 9244 человека. С гибелью ровно двух человек при одном пожаре завершились 1288 пожаров, что составляет 0,7214% всех пожаров. Число людей, погибших при таких пожарах, составляет:  $2 \cdot 1288 = 2576$  человек. С гибелью ровно трех человек при одном пожаре завершились 240 пожаров, что составляет 0,1344% всех пожаров. Число людей, погибших при таких пожарах, составляет:  $3 \cdot 240 = 720$  человек. С гибелью ровно четырех человек при одном пожаре завершились 69 пожаров, что составляет 0,0387% всех пожаров. Число людей, погибших при таких пожарах, составляет:  $4 \cdot 69 = 276$  человек. С гибелью ровно пяти человек и более при одном пожаре завершились 27 пожаров. Число людей, погибших при таких пожарах, составляет 196 человек, а среднее число погибших людей при одном пожаре – 7,25 человек.

События, заключающиеся в гибели ровно 0, 1, 2, 3, 4, 5 и более человек при одном пожаре, являются несовместными, представляют собой случайные события, которые образуют полную группу событий, о чем свидетельствует колонка 3, табл.1, в которой представлены условные вероятности соответствующих пожаров и сумма вероятностей которых равна 1. Последний факт наиболее надежно свидетельствует о том, что пожары с последствиями, указанными в колонке 1, табл.1, образуют полную группу событий. Числа в колонке 1 являются случайными с их условными вероятностями, представленными в колонке 3.

## 3. Расчет индивидуального пожарного риска

Используя вероятностную оценку риска [5], матричный анализ [6] и имитационное моделирование методом Монте – Карло [7], вычислен условный индивидуальный пожарный риск в здании с номинальной вместимостью  $N_n$  человек. В качестве примера рассмотрено здание с  $N_n = 10$  человек. Результаты вычислений представлены в табл.2.

Используя данные табл. 2, и первый и третий столбцы табл. 1, составим табл. 3, которая позволяет вычислить средний условный индивидуальный пожарный риск при среднестатистическом пожаре в РФ на 2009-2011 годы.

Таблица 1

**Распределение числа пожаров в Российской Федерации в 2009-2011 годах по количеству погибших при пожарах людей (среднегодовые данные, усредненные за три года)**

| Число людей, погибших при одном пожаре | Среднегодовое число пожаров в 2009-2011 годах | Доля пожаров (условная вероятность пожаров) | Число людей, погибших при пожарах | Математическое ожидание числа людей, погибших при одном пожаре | Число пожаров с гибелью людей |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| N                                      | n                                             | $\frac{n}{\sum n}$                          | N · n                             | $\frac{N \cdot n}{\sum n}$                                     | n <sub>г</sub>                |
| 0                                      | 167674                                        | 0,939129                                    | 0                                 | 0                                                              | 0                             |
| 1                                      | 9244                                          | 0,051775                                    | 9244                              | 0,051775                                                       | 9244                          |
| 2                                      | 1288                                          | 0,007214                                    | 2576                              | 0,014428                                                       | 1288                          |
| 3                                      | 240                                           | 0,001344                                    | 720                               | 0,004032                                                       | 240                           |
| 4                                      | 69                                            | 0,000387                                    | 276                               | 0,001548                                                       | 69                            |
| 5 и более*                             | 27                                            | 0,000151                                    | 196                               | 0,001095                                                       | 27                            |
| Итого Σ                                | 178542                                        | 1,000000                                    | 13012**                           | 0,072878                                                       | 10868                         |

\*среднее число погибших при таком пожаре составляет 7,25 чел;

\*\*при 12967 человек травмированных.

#### 4. Уточнение формулы для расчета индивидуального пожарного риска

Как отмечено выше, число людей N, погибших при одном пожаре, есть величина случайная, которая может принимать значения от нуля до N<sub>н</sub>. Сумма чисел колонки 2, табл.3 указывает на то, что пожары с числом людей, погибших при одном пожаре от нуля до пяти и более человек, образуют полную группу событий. Условный индивидуальный пожарный риск Q<sub>вы</sub> для каждого вида пожара вычислен и представлен в колонке 3, табл.3. На основании данных табл.3 можно вычислить математическое ожидание условного индивидуального пожарного риска M(Q<sub>вы</sub>):

$$\begin{aligned}
 M(Q_{\text{вы}}) &= \frac{0}{N_{\text{н}}} 0,939129 + \frac{1}{N_{\text{н}}} 0,051775 + \frac{2}{N_{\text{н}}} 0,007214 + \\
 &+ \frac{3}{N_{\text{н}}} 0,001344 + \frac{4}{N_{\text{н}}} 0,000387 + \frac{7,25}{N_{\text{н}}} 0,000151 = \\
 &= \frac{1}{N_{\text{н}}} (0,051775 + 0,014428 + 0,004032 + 0,001548 + 0,001095) = \\
 &= \frac{0,072878}{N_{\text{н}}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Таблица 2

Результаты анализа для вычисления условного индивидуального пожарного риска в здании с номинальной вместимостью  $N_n$  человек

| Число людей, погибших при одном пожаре<br>$N$ | Число людей, подвергавшихся риску гибели<br>$N_n$ | Число способов, которыми может погибнуть индивидуум при пожаре<br>$N_{сп}$ | Число способов, которыми могут погибнуть $N_n$ человек в комбинациях по $N$ человек<br>$N_{нсп}$ | Условный индивидуальный пожарный риск $Q_{vy}$ , вычисленный с использованием: |                                                |                               |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                               |                                                   |                                                                            |                                                                                                  | вероятностного анализа<br>$\frac{N}{N_n}$                                      | матричного анализа<br>$\frac{N_{сп}}{N_{нсп}}$ | метода Монте-Карло<br>$n_n^*$ |
| 0                                             | 10                                                | 0                                                                          | 0                                                                                                | 0                                                                              | 0                                              | 0                             |
| 1                                             | 10                                                | 1                                                                          | 10                                                                                               | 0,1                                                                            | 0,1                                            | 0,1                           |
| 2                                             | 10                                                | 9                                                                          | 45                                                                                               | 0,2                                                                            | 0,2                                            | 0,2                           |
| 3                                             | 10                                                | 36                                                                         | 120                                                                                              | 0,3                                                                            | 0,3                                            | 0,3                           |
| 4                                             | 10                                                | 84                                                                         | 210                                                                                              | 0,4                                                                            | 0,4                                            | 0,4                           |
| 5                                             | 10                                                | 126                                                                        | 252                                                                                              | 0,5                                                                            | 0,5                                            | 0,5                           |
| 6                                             | 10                                                | 126                                                                        | 210                                                                                              | 0,6                                                                            | 0,6                                            | 0,6                           |
| 7                                             | 10                                                | 84                                                                         | 120                                                                                              | 0,7                                                                            | 0,7                                            | 0,7                           |
| 8                                             | 10                                                | 36                                                                         | 45                                                                                               | 0,8                                                                            | 0,8                                            | 0,8                           |
| 9                                             | 10                                                | 9                                                                          | 10                                                                                               | 0,9                                                                            | 0,9                                            | 0,9                           |
| 10                                            | 10                                                | 1                                                                          | 1                                                                                                | 1,0                                                                            | 1,0                                            | 1,0                           |

\* при числе имитационных прогонов  $n_n \rightarrow \infty$

Таблица 3

Условный индивидуальный пожарный риск в зависимости от распределения числа людей, погибших при одном пожаре.

| Число людей, погибших при одном пожаре (табл.1)<br>$N$ | Доля пожаров (условная вероятность пожаров) (табл.1)<br>$\frac{n}{\sum n}$ | Условный индивидуальный пожарный риск (табл.2, колонка 5)<br>$Q_{vy}$ |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 0                                                      | 0,939129                                                                   | $0/N_n$                                                               |
| 1                                                      | 0,051775                                                                   | $1/N_n$                                                               |
| 2                                                      | 0,007214                                                                   | $2/N_n$                                                               |
| 3                                                      | 0,001344                                                                   | $3/N_n$                                                               |
| 4                                                      | 0,000387                                                                   | $4/N_n$                                                               |
| *5 и >                                                 | 0,000151                                                                   | $7,25/N_n$                                                            |
| Итого $\sum$                                           | 1,000000                                                                   | -                                                                     |

\*среднее число жертв при таком пожаре составляет 7,25 человек.

Это число и есть средний условный индивидуальный пожарный риск при среднестатистическом пожаре в РФ на 2009-2011 г. С учетом свойств математического ожидания и вероятности события при единичном испытании [5], число 0,072878 можно интерпретировать как среднее число людей (математическое ожидание), погибающих при среднестатистическом пожаре, или как условную вероятность гибели людей при среднестатистическом пожаре.

В руководстве по расчету пожарных рисков в США [8] предусмотрена процедура верификации – подтверждение того, что используемые в оценке пожарного риска математические зависимости и методы оценки с высокой точностью выдают прогнозируемые и достоверные результаты. Подвергнем верификации число 0,072878. Оно может быть получено и другим способом: путем деления суммарного числа погибших людей (13012) на суммарное число пожаров (178542):

$$13012 / 178542 = 0,072879$$

Полученное таким образом число 0,072879 представляет собой среднее число людей, погибающих при среднестатистическом пожаре, однако структура этого числа неизвестна и по этой причине использовать его для вычисления индивидуального пожарного риска не представляется возможным. Структура же числа 0,072878 представлена в колонке 5, табл. 1, из которой следует, что оно является суммой условных индивидуальных пожарных рисков при пожарах с гибелью от 0 до  $N_H$  человек, и это позволяет вычислить условный индивидуальный пожарный риск при среднестатистическом пожаре (формула 4).

Для вычисления безусловного индивидуального пожарного риска,  $M(Q_{vy})$  необходимо умножить на  $Q_H$  – частоту возникновения пожара в здании в течение года (формула 2). При наличии в здании установки автоматического пожаротушения, возможности отсутствия людей в здании, возможности эвакуации людей до наступления критических значений ОФП, наличии системы противопожарной защиты, произведение указанных двух чисел необходимо умножить на вероятность отказа перечисленных организационных мер и технических средств защиты людей от ОФП, как это сделано в формуле (2). Окончательно формула для расчёта индивидуального пожарного риска, с учётом проведённого выше анализа, должна быть такой:

$$Q_B = Q_H \cdot \left( \frac{0,072878}{N_H} \right) (1 - R_{an}) P_{np} \cdot (1 - P_{\varepsilon}) (1 - P_{п.з.}), \quad (5)$$

По сравнению с формулой (2) методики [2] здесь появился множитель  $0,072878/N_H$ , который представляет собой средний условный индивидуальный пожарный риск при среднестатистическом пожаре в РФ в 2009 - 2011 г. Будучи умноженным на  $Q_H$ , этот множитель превращается в безусловный индивидуальный пожарный риск.

Вернёмся к примеру №1 и вычислим  $Q_B$  по формуле (5):

$$Q_B = 0,130200 \left( \frac{0,072878}{400} \right) (1 - 0,900000) 0,750000 (1 - 0,999000) (1 - 0,870400) = 0,2 \cdot 10^{-9}$$

$$Q_B < Q_B^H; \quad 0,2 \cdot 10^{-9} < 10^{-6}$$

Безопасность людей в гостинице с большим запасом соответствует требованию статьи 79 технического регламента [1].

Вернёмся к примеру №2 и вычислим  $Q_B$  по формуле (5):

$$Q_B = 1 \cdot \left( \frac{0,072878}{400} \right) (1 - 0) 0,75 (1 - 0) (1 - 0) = 137 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_B < Q_B^H; \quad 137 \cdot 10^{-6} < 10^{-6}$$

Математическое ожидание  $N_{п}$  числа погибших людей составляет:

$$N_{п} = Q_{в} \cdot N_{п} = 137 \cdot 10^{-6} \cdot 400 = 0,055 \text{ чел.}$$

Безопасность людей в гостинице не соответствует требованию статьи 79 технического регламента [1], но не в такой степени, как это следует из формулы (2), в соответствии с которой  $Q_{в} = 0,75$  и математическое ожидание числа погибших людей составляет 300 чел. (пример №2).

## 5. Учет надежности систем противопожарной защиты

Методика [2], в формуле (2), при отсутствии сведений по параметрам технической надёжности установок автоматического пожаротушения, систем пожарной сигнализации, системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, системы противодымной защиты, предписывает принимать вероятность эффективного срабатывания указанных систем равной, соответственно, 0,9; 0,8; 0,8; 0,8. Это грубое для получения числа с точностью до 0,000001 допущение.

В методических указаниях [9] представлена формула для расчёта вероятности отказа спринклерной установки водяного пожаротушения. Вычисленные по этой формуле вероятности отказа указанной установки при различных режимах её функционирования дают результаты, представленные в табл.4.

Таблица 4

**Показатели надёжности спринклерной установки водяного пожаротушения при различных режимах функционирования**

| Дежурное время, годы<br>(время между техническими обслуживаниями). | Вероятность отказа<br>за 1 год | Вероятность эффективно-<br>го срабатывания за 1 год |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0,25                                                               | 0,008056                       | 0,991944                                            |
| 1                                                                  | 0,018442                       | 0,981558                                            |
| 2                                                                  | 0,035468                       | 0,964532                                            |

В изменениях [10], внесенных в методику [2], расчёт надёжности установок автоматического пожаротушения, систем пожарной сигнализации, систем противодымной защиты, систем оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей вообще не предусмотрен. Вероятность эффективного срабатывания указанных систем изменения [10] предписывают принимать равными 0,9; 0,8; 0,8; 0,8, если здание оборудовано соответствующей системой и эта система соответствует требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Из табл.4 следует, что при дежурном времени равном 0,25 года и 1 год спринклерная установка водяного пожаротушения вполне может соответствовать требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, однако вероятность её эффективного срабатывания существенно отличается от предписываемого изменениями [10] числа 0,9. Анализируя зарубежные нормативно-правовые акты в области обеспечения пожарной безопасности, в частности, руководство по расчету пожарных рисков в США [8], замечаем, что в п.5.6.5 отмечено:

«п.5.6.5. Оценка надежности. Модели должны включать рассмотрение надежности систем противопожарной защиты. Они также должны включать эффективность систем противопожарной защиты в эксплуатации. Оценка надежности и эф-

фективности является основной причиной существования оценки пожарного риска. В случае 100% вероятности срабатывания систем противопожарной защиты, оценка пожарного риска становится не актуальной».

Теория надёжности дежурных систем обоснована, доказана и опубликована в работе [11], и на основании этой теории разработана методика расчёта надёжности пожарных дежурных систем [12].

В изменениях [10] частота возникновения пожара в зданиях зафиксирована безотносительно к численности контингента в этих зданиях. Например, для гостиницы частота возникновения пожара в течение года составляет 0,0281 1/год. Это число, в соответствии с изменениями [10], необходимо использовать при расчёте индивидуального пожарного риска в любом здании гостиницы при любой численности её контингента и обслуживающего персонала. В приложении 1 к методике [2] приведена частота возникновения пожара в течение года в гостинице в расчёте на одно место – 0,0003255 1/чел.год. Тогда вместимость гостиницы, в которой частота возникновения пожара в течение года составляет 0,0281 1/год, равна:

$$0,0281/0,0003255 = 86 \text{ человек.}$$

Таким образом, частота возникновения пожара в гостинице на 860 мест приравнивается к частоте возникновения пожара в гостинице на 86 мест, тогда как в действительности указанная частота в первой гостинице в 10 раз больше, чем во второй. По этой причине п.12 изменений [10] целесообразно убрать и оставить приложение №1 к методике [2] в неизменном виде. Даже наоборот, надо расширять номенклатуру зданий, сооружений, строений и накапливать статистические данные для вычисления уточнённой оценки частоты возникновения пожара в расчёте на единицу контингента здания (в расчёте на: одного человека; одного ребёнка; одного учащегося; одного посетителя; одно койко – место; одного пациента и т.п.).

## 6. Число значащих цифр в числах формулы для расчета индивидуального пожарного риска

В справочнике [13], в параграфе 40 «Подсчёт точных знаков при умножении» на стр.90 даны практические выводы по выполнению операций при перемножении нескольких чисел:

«Если требуется, чтобы произведение двух чисел имело заранее данное число вполне надёжных цифр, то в каждом из сомножителей число точных цифр, (найденных измерением или вычислением) должно быть на единицу больше. Если количество сомножителей больше двух и меньше десяти, то в каждом из сомножителей число точных цифр для полной гарантии должно быть на две единицы больше, чем требуемое число точных цифр. Практически же вполне достаточно взять лишь одну лишнюю цифру. Например, имеются сомножители: 0,33333; 0,1429; 0,09091; 0,07692. Требуется найти их произведение с двумя значащими цифрами. Для полной гарантии мы должны взять все сомножители с четырьмя значащими цифрами и перемножить их:

$$0,3333 \cdot 0,1429 \cdot 0,09091 \cdot 0,07692 = 0,000333$$

Две первые значащие цифры, безусловно, правильны, так что точное значение есть 0,00033. За точность третьей значащей цифры заранее нельзя поручиться».

Значащими цифрами называются все верные цифры числа, кроме нулей, стоящих впереди числа. Например, в числе 0,00384 – три значащие цифры; в числе 0,03085 – четыре значащие цифры; в числе 2500 – четыре [13].

Формула (5) включает произведение шести чисел, каждое из которых меньше 1. В формуле (1) фигурирует число  $Q_B^H = 0,000001$ . Тогда, в соответствии с правилами арифметики по подсчёту точных знаков при умножении [13], указанные шесть чисел должны браться с тремя значащими цифрами.

## Выводы

1. Формула (2) в методике [2] завышает расчётную величину индивидуального пожарного риска в  $N_n / 0,072878$  раз. По этой причине указанная формула должна быть разделена на это число и включать число  $(0,072878 / N_n)$  в качестве одного из сомножителей (формула 5), где  $N_n$  – номинальное число людей в здании, сооружении, строении.

2. Методика [2] должна включать методику расчёта вероятности эффективного срабатывания установки автоматического пожаротушения, системы пожарной сигнализации, системы противодымной защиты, системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей. Произвольное назначение вероятностей эффективного срабатывания указанных систем равными, соответственно, 0,9; 0,8; 0,8; 0,8 только за то, что они соответствуют требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, не имеет достаточно строгого обоснования, которое требуется для вычисления числа с точностью до  $10^{-6}$ .

3. Пункт 12 изменений [10], включающий статистические данные о частоте возникновения пожара в зданиях, целесообразно убрать из изменений [10] и оставить приложение №1 к методике [2] в неизменном виде.

4. Все числа в формуле (5) должны браться не менее чем с тремя значащими цифрами.

## Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. ФЗ №123 от 22.07.2008.
2. Методика определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приказ МЧС РФ №382 от 30.06.2009.
3. О техническом регулировании. ФЗ №184 от 27.12.2002.
4. BS 7974-7. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7: Probabilistic risk assessment. British Standards Institution (BSI), London, UK. - 2003.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Высш. Школа. - 1987, 479 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука. Главн. ред. физ.-мат. литерат. - 1984 – 833 с.
7. Бусленко Н.П. и др. Метод статистических испытаний (метод Монте – Карло). Гос. изд. физ.-мат. литерат. М. - 1982, 331с.
8. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessment. National Fire Protection Association (NFPA), Quincy, MA, USA, 2010 Edition.
9. Харисов Г.Х., Калайдов А.Н., Мирзаянц А.В. Методические указания и сборник заданий для практических занятий по дисциплине «Надёжность технических систем и техногенный риск». Учебно. – методич. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2011, 65 с.
10. Изменения, вносимые в методику определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утверждённую приказом МЧС России от 30.06.09. №382. Приказ МЧС России №749 от 12.12.11.
11. Харисов Г.Х. К вопросу оценки готовности дежурной системы выполнять заданные функции. Надёжность и контроль качества. – М.: Издательство стандартов, №8, 1984 – с.17 – 25.
12. Харисов Г.Х., Бубырь Н.Ф., Воронин Б.И. Рекомендации по расчёту надёжности технических средств защиты людей от опасных факторов пожара. М., ВНИИПО МВД СССР. - 1988, - 54с.
13. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. Издание 25 - е. М.: Наука. главн. ред. физ. – мат. литерат. - 1989.- 335 с.

### Сведения об авторах

**Фирсов Алексей Викторович** – старший преподаватель кафедры гражданской защиты ФГБУ ВПО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», e-mail: firsovalex@mail.ru

**Харисов Гаяз Харисович** – профессор кафедры гражданской защиты ФГБУ ВПО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России», e-mail: firsovalex@mail.ru

УДК 614.841.345

## ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИЕЙ С ВЫХОДОМ ВОДОРОДА НА АЭС С РЕАКТОРОМ ВВЭР

Член-корр. РАН **Л.А. Большов**, **С.И. Кочнев**, доктор техн. наук **М.Д. Сегаль**,  
доктор физ.-мат. наук **В.Н. Семенов**

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

*Рассматривается возможный способ управления тяжелой запроектной аварией на АЭС путем подавления горения и детонации водорода за счет тонкораспыленной воды и водяного пара.*

*Использование значительной массы (более 300 тонн) перегретой воды в деаэраторах, находящейся под давлением 0,65 МПа и температуре 165 град. С, дает возможность управлять тяжелой аварией посредством дозированной подачи под защитную оболочку перегретой воды, которая, вскипая превращается в тонкораспыленную воду и пар.*

**Ключевые слова:** тяжелая авария, атомная электростанция, водород, детонация, деаэратор, тонкораспыленная вода.

## THE POSSIBLE METHOD OF SEVERE ACCIDENT WITH HYDROGEN RELEASED MANAGEMENT AT NUCLEAR POWER PLANT WITH WWER REACTOR

Corresponding member of the RAS **L.A. Bolshov**,  
**S.I. Kochnev**, Dr. (Tech.) **M.D. Segal**, Dr (Phys.-Math.) **V.N. Semenov**  
Inst. Nuclear Safety of Russian Science Academy

*Discussed the possible method of severe accident NPP with PWR reactor operating, by suppression the hydrogen fire and explosion by means of water mist and vapor.*

*The using of big mass (near 300 000 kg) overheated water (the presser is 6.5 bar and the temperature is 165 C) at the two deaerators permit to operate severe accident. By feeding the overheated water into containment from the deaerators generated the water mist and vapor.*

**Key words:** severe accident, nuclear power plant, deaerators, hydrogen, detonation, water mist.

Тяжелые запроектные аварии на АЭС могут приводить к образованию взрывоопасных водородосодержащих газовых смесей в помещениях, находящихся под защитной оболочкой (ЗО) реактора. Общее количество водорода, которое может образоваться на внутри-



корпусной стадии аварии при окислении всего циркония (порядка 22 т) для реактора типа ВВЭР-1000 составляет около 1 т. Реалистичный анализ показывает, что в действительности подвергнуться окислению может от 30 до 70% всего циркония, и масштаб массы водорода 300 – 700 кг. С учетом выхода водорода при разложении бетона на внекорпусной стадии общее количество водорода может составить 1,5 – 2 т. Наиболее важный с точки зрения взрывобезопасности параметр – соотношение концентраций водорода, кислорода и водяного пара в газовой атмосфере в помещениях под защитной оболочкой. Предварительный анализ показывает, что даже в присутствии в атмосфере помещений АЭС большого количества пара доля водорода в парогазовой смеси в отдельных помещениях может оказаться в пределах горения и детонации как на корпусной, так и на внекорпусной фазе.

В случае возникновения достаточно высоких локальных концентраций водорода возможно быстрое горение газовой смеси, которое может перейти в детонацию с появлением высоких давлений и соответствующими импульсными нагрузками на стены и оборудование. Эти нагрузки могут существенно превышать те, на которые обычно рассчитана защитная оболочка (порядка 0,4 МПа). В результате этого защитная оболочка не сможет осуществлять свои функции по локализации аварии и удержанию вышедших радиоактивных продуктов деления. Это подтверждается опытом произошедших к настоящему времени аварий.

Авария на водо–водяном реакторе PWR мощностью 885 МВт (эл) на АЭС Три Майл Айленд, которая произошла 28 марта 1979 г., привела к образованию около 450 кг водорода, который выделялся со скоростью 25 кг/мин [1].

Как показал последующий анализ, наличие достаточно большого количества пара под герметичной оболочкой привело к эффекту флегматизации и подавлению возможной детонации, хотя воспламенение водородосодержащей газовой смеси и произошло, что подтвердилось зафиксированным скачком давления (193 кПа) под защитной оболочкой.

Гораздо серьезнее были последствия тяжелой аварии на АЭС Фукусима-1 11 марта 2011 г. в Японии.

Длительное обесточивание станции привело к расплавлению топлива и интенсивному образованию водорода [2]. По расчетным оценкам в реакторах энергоблоков № 1-3 образовалось порядка 400- 800 кг водорода, что привело к взрывам и разрушению защитных оболочек. Взрыв на энергоблоке № 4 мог быть вызван попаданием водорода из третьего энергоблока через общий воздуховод.

Таким образом, проблема водородной безопасности является актуальной и любые предложения, направленные на снижение риска возникновения горения и взрыва водорода и смягчения последствий, представляют принципиальный интерес.

В соответствии с российскими нормами при проектных авариях не допускается горение водорода, а при тяжелых, запроектных авариях не допускается детонация, что накладывает определенные требования на состав газовой смеси в атмосфере под защитной оболочкой при авариях. Основные системы безопасности, обеспечивающие эти требования, на российских и многих других АЭС базируются на применении пассивных каталитических рекомбинаторов для беспламенного сжигания водорода.

Однако возможны и другие, дополнительные меры, для более надежной нейтрализации водорода, в частности благодаря флегматизации инертными разбавителями. В качестве таковых могут быть использованы азот, диоксид углерода, гелий, аргон т.д. В работе [3] приведены данные по зависимости концентрационных пределов воспламенения водорода от содержания разбавителя в водородовоздушных смесях и численные значения коэффициентов, характеризующих эффективность вышеуказанных флегматизаторов. В работе [4] приведены экспериментальные результаты подавления горения и детонации в водородовоздушной смеси и показано, что увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  до 15% об. в смеси практически подавляет детонацию.

Необходимо отметить, что на реакторах типа BWR используется предварительное инертирование атмосферы под контейнментом (у этого типа реакторных установок контейнмент является необслуживаемым и имеет малый объем). Этот способ не применяется на реакторах ВВЭР и PWR, поскольку в объеме контейнмента у этих типов РУ располагается оборудование, требующее обслуживания.

Однако, как показали события на АЭС Фукусима-1, инертирование азотом не спасло от взрыва водорода. В силу необходимости сброса избыточного давления газовой среды из контейнмента азот и водород в конечном счете попали в воздушную атмосферу основного здания через систему вентиляции контейнмента, что привело к возможности взрыва.

В аварийных ситуациях на АЭС естественным флегматизатором является водяной пар, однако в ходе развития тяжелой аварии его объемная доля непостоянна и уменьшается благодаря процессам конденсации.

В литературе приводится реализованный на практике способ подавления возможной детонации, основанный на подаче пара в контейнмент из специальных вспомогательных бойлеров. Этот способ реализован на АЭС Borssele в Нидерландах. Однако остается открытым вопрос о работоспособности такой системы при тяжелой аварии с длительным обесточиванием станции [5].

Для практических целей с точки зрения создания достаточно простой и технологичной системы подавления детонации и горения значительный интерес представляет флегматизирующее действие тонкораспыленной (мелкодисперсной воды).

В ряде работ [6,7] представлены экспериментальные результаты подавления детонации в водородосодержащих смесях тонкораспыленной водой, завесами и пенами.

Показано, что наибольший эффект снижения скорости горения в стехиометрических смесях водород – воздух – водяной пар дают капли, способные испариться в самом начале предпламенной зоны (до 400 К). Поэтому гасящие пламя свойства мелких капель воды оказываются более действенными, чем у сухого пара при размерах капель порядка 8-10 мкм.

Доказано [6-9], что наличие микрокапель в системе водород-воздух-водяной пар сужает пределы горения в сторону более низких значений объемной концентрации пара.

В теоретической работе [8] показано, что при фиксированной массовой доле капель воды в горючей смеси, содержащей водород, существует минимальное значение начального диаметра капель, начиная с которого, воспламенения смеси не происходит.

При размере капель 30 мкм воспламенения не происходит при массовой доле впрыскиваемой воды равной 0,1. При размере капли 40 мкм этот эффект отмечается при массовой доле 0,2, при размере капель 70 мкм при массовой доле 0,6 соответственно. Таким образом, увеличение массовой доли впрыскиваемой воды приводит к тому, что воспламенения не происходит даже при сравнительно крупных каплях.

В работе [9] расчетным путем показано, что наличие капельной взвеси влияет на пределы детонации и горения, причем при достаточно малых размерах капель жидкости может происходить подавление детонации. Были проведены трехмерные нестационарные расчеты инициирования и распространения детонации в водородопаровоздушной среде при параметрах, характерных для начальной стадии тяжелой аварии на АЭС в присутствии взвешенных капель воды радиусом 100 мкм. Результаты численного моделирования, проведенного при вариации плотности дисперсной фазы (капельной взвеси), показали, что с увеличением плотности дисперсной фазы происходит затухание детонации и существует некоторое критическое значение этого параметра, при котором наблюдается подавление детонации (расчетная величина плотности составляет порядка  $4,4 \text{ кг/м}^3$ ).

Таким образом, представляет интерес практический способ подавления горения и детонации водорода при тяжелой аварии, основанный на использовании тонкораспыленной воды (ТРВ) и пара.

Рассмотрим некоторые запатентованные на сегодняшний день способы подавления горения и детонации водорода при тяжелой аварии на АЭС.

Известны различные конструкции устройств, обеспечивающих подавление детонации и горения водорода во внутреннем объеме ЗО. Так, например, в опубликованной японской патентной заявке JP8334585A (МПК: G21C 13/00, G21C 9/04, опубликована 17.12.1996) описано устройство, предназначенное для подавления детонации и горения водорода под защитной оболочкой реактора. Устройство содержит резервуар с рабочим веществом, с помощью которого подавляется детонация водорода при взаимодействии газообразного водорода и кислорода. Резервуар расположен за пределами ЗО и соединен с пространством под защитной оболочкой через питающие трубопроводы, на которых установлены управляемые запорные клапаны. При возникновении аварийной ситуации средствами сигнализации вырабатывается сигнал, поступающий в систему управления, которая, в свою очередь, вырабатывает управляющий сигнал, подаваемый на органы управления запорных клапанов. После открытия запорных клапанов газообразное вещество инжектируется через питающие трубопроводы в отдельные отсеки пространства под защитной оболочкой.

Известно также устройство, обеспечивающее подавление детонации и горения водорода под защитной оболочкой ядерного реактора, которое раскрыто в патенте US 5321730 (МПК: C05B 5/00, G21C 19/317, G21C9/00, опубликован 14.06.1994). Устройство содержит резервуар, расположенный за пределами защитной оболочки реактора. Резервуар заполнен суспензией, содержащей частицы катализатора. Выходной патрубок резервуара соединен через питающий трубопровод с пространством под защитной оболочкой. Управление подачей суспензии под защитную оболочку осуществляется с помощью управляемых запорных клапанов, установленных на питающем трубопроводе. Питающий трубопровод подключен к коллектору с распылителями жидкости, которые расположены вблизи от корпуса реактора. При распылении суспензии через распылители в виде тонкораспыленных потоков осуществляется нагрев и сушка ультрадисперсных частиц катализатора. В результате частицы катализатора равномерно распределяются в пространстве под защитной оболочкой реактора в виде аэрозоля, способствуя эффективному гетерогенному окислению газообразного водорода и снижению его концентрации.

Устройство, предназначенное для предотвращения детонации и горения водорода, описано в европейском патенте EP 0466052B1 (МПК: G21C 15/18, G21C/00, G21C 9/06, опубликован 15.01.1992). Устройство включает в свой состав резервуар, заполненный жидкостью (сжиженным газом), систему вытеснения жидкости, которая выполнена в виде баллона со сжатым газом (гелием), и коллектор с распылителями жидкости. В качестве жидкости, обеспечивающей снижение концентрации водорода в пространстве под защитной оболочкой реактора, используется сжиженный азот или углекислота. Питающий трубопровод с управляемым запорным клапаном соединяет выходной патрубок резервуара с коллектором и распылителями жидкости.

При возникновении аварийной ситуации по сигналу системы управления происходит открытие запорных клапанов на магистрали подачи сжатого газа в газовую полость резервуара и на питающем трубопроводе. Под действием давления сжатого газа жидкость вытесняется из резервуара и подается через питающий трубопровод к распылителям жидкости. Заполняя пространство под ЗО, рабочий газ препятствует возникновению дефлаграции и/или детонации водорода.

Следует отметить, что вышеприведенные устройства включают достаточно сложную систему подачи рабочего вещества (флегматизатора) и требуют наличия сосудов под давлением.

Анализ показал, что возможно создать инженерную систему подавления горения и детонации водорода (управления тяжелой аварией) посредством использования имеющихся на АЭС резервных запасов перегретой воды, находящихся в деаэраторах.

Деаэраторы являются частью водяного контура охлаждения ядерного реактора. В состав АЭС с реактором ВВЭР-1000 два деаэратора размещены на деаэраторной этажерке с внешней стороны защитной оболочки на высоте 31,2 м и 28,6 м от основания ЗО, в каждом деаэраторе содержится порядка 165 тонн воды при температуре 165 град. С и давлении 0,65 МПа.

Технически возможно организовать подачу перегретой воды из деаэраторов под защитную оболочку к форсункам-распылителям, размещаемым в зоне локализации аварии.

Необходимо отметить, что зоны размещения распылителей, их количество и расходные характеристики могут быть определены в дальнейшем в результате проведения расчетно-экспериментальных работ и конструкторских проработок.

На рис. 1 представлена схема предлагаемого устройства.

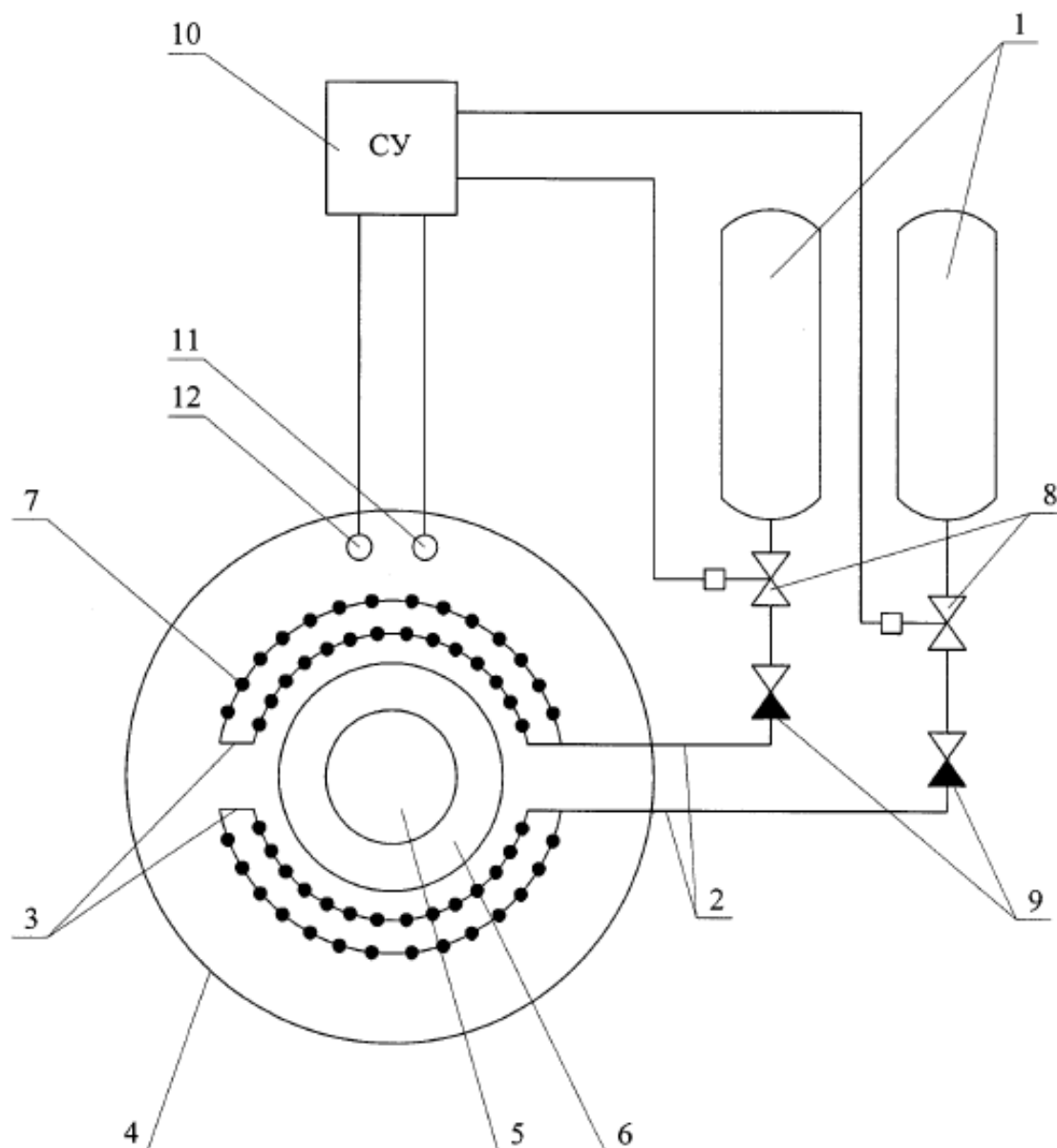


Рис.1 Схематическое изображение устройства для подавления горения и детонации водорода.

1-деаэраторы, 2-трубопроводы, 3-коллекторы, 4-защитная оболочка, 5-корпус реактора, 6-сухая бетонная защита, 7- форсунки-распылители, 8- запорные клапаны, 9-обратные клапаны, 10- система управления, 11- датчики давления, 12- датчики концентрации водорода.

Вода поступает к распылителям жидкости под действием гидростатического давления, обусловленного высотой установки деаэраторов относительно коллекторов с распылителями жидкости и начального давления в деаэраторах. При истечении перегретой воды через распылители в пространстве зоны локализации аварии (ЗЛА) происходит образование тонкораспыленной воды и пара. Пар, смешиваясь под защитной оболочкой с газообразным водородом и воздухом, разбавляет парогазовую смесь. При этом, как показано в работах [10] и [11], при истечении перегретой воды в окружающую среду при давлении ниже давления на линии насыщения происходит вскипание и дробление струи на микрокапли и водяной пар. Соотношение (по массе) пара и капельной взвеси составляет 20% и 80% соответственно.

Как показали результаты численного анализа различных сценариев тяжелых аварий, опасное соотношение концентраций газовой смеси могут достигаться во время пиков выхода водорода (интенсивность выброса водорода может достигать до нескольких кг/с) либо при конденсации водяного пара.

При этом каталитические рекомбинаторы водорода, используемые как основное средство подавления горения и детонации водорода, могут не успеть снизить концентрацию водорода до безопасного уровня при продолжающихся процессах конденсации пара и выделения водорода. Предлагаемый способ позволяет отодвинуть состав смеси от опасных пределов за счет разбавления паром и дополнительного механизма подавления горения и детонации за счет тонкораспыленной воды и тем самым продлить во времени процесс рекомбинации водорода в условиях дополнительно разбавленной паром смеси.

Таким образом, просматривается возможность создания инженерного устройства управления тяжелой аварией, не требующего дополнительных энергоемких систем и сооружений.

Реализация предлагаемого способа может осуществляться следующим образом. Как уже говорилось выше, при возникновении тяжелой запроектной аварии в пространстве под защитной оболочкой происходит интенсивное образование газообразного водорода в результате взаимодействия расплавленного топлива и элементов конструкции ядерного реактора. Контроль содержания (концентрации) газообразного водорода и пара в пространстве под защитной оболочкой производится с помощью датчиков. В случае приближения к нижнему значению концентрации водорода, при которой возможно возникновение детонации, система управления (СУ) вырабатывает сигнал на открытие запорных клапанов (в случае полной потери электроснабжения клапаны могут быть открыты оператором вручную по сигналу датчика) на трубопроводах, подающих перегретую воду из деаэраторов под защитную оболочку в систему форсунок-распылителей.

Перегретая вода на выходе из распылителей преобразуется в смесь, состоящую из пара и тонкораспыленной воды, заполняющую пространство под защитной оболочкой.

Подача перегретой воды из деаэраторов должна контролироваться таким образом, чтобы давление газовой среды под защитной оболочкой не превысило предельно допустимого, определяемого запасом прочности защитной оболочки.

При достижении этой величины давления система управления вырабатывает сигнал, который передается на органы управления запорных клапанов (либо оператору для закрытия клапана вручную) и подача воды из деаэраторов прекращается. Дальнейшая подача перегретой воды в пространство под защитной оболочкой осуществляется по сигналам датчика давления таким образом, чтобы давление парогазовой смеси поддерживалось объеме ЗО в определенном диапазоне, границы которого соответствуют безопасному соотношению объемных концентраций водорода и пара и предельно допустимому давлению газовой среды. Одновременно с распылением перегретой воды осуществляется снижение объемной концентрации водорода в парогазовой смеси до безопасного уровня с помощью средств пассивной каталитической рекомбинации водорода, установленных под защитной оболочкой. Такой способ управления тяжелой аварией в сочетании с достаточным запасом

перегретой воды в деаэраторах может позволить избежать возникновения критических условий детонации водорода в течение периода времени, необходимого для снижения объемной концентрации водорода до безопасного уровня с помощью рекомбинаторов.

Данный способ управления тяжелой аварией в настоящее время запатентован в Российской Федерации и выдан патент на полезную модель.[12]

Необходимо отметить, (об этом упоминалось выше), что управление тяжелой аварией с использованием запаса воды в деаэраторах может быть осуществлено в режиме ручного управления. Для этого оператор по показаниям датчиков давления и датчиков контроля концентрации водорода может вручную открывать и закрывать запорные клапаны (в этом случае в качестве запорных клапанов могут использоваться вентили с ручным управлением). Ручной режим позволит управлять тяжелой запроектной аварией без применения каких-либо электромеханических или пневматических систем подачи флегматизаторов или ингибиторов, работа которых зависит от источника электрической энергии. Необходимо отметить, что именно длительная потеря подачи электроэнергии привела к взрывам водорода на реакторах АЭС Фукусима-1.

#### Выводы:

1. Исследования, проведенные разными авторами, показали, что эффективным способом подавления горения и детонации водородосодержащих газовых смесей является введение в смесь капельной взвеси с малыми размерами капель (тонкораспыленной воды или водяного тумана). При этом уменьшение размеров капель усиливает эффект подавления детонации. Как показали результаты экспериментов, одним из перспективных способов получения тонкораспыленной воды является истечение перегретой воды из сопловых устройств в окружающую среду, давление которой ниже, чем на линии насыщения. При этом происходит дробление струи на микрокапли (диаметром менее 50 мкм) и образование водяного пара.

2. В состав АЭС с реактором ВВЭР-1000 входят два деаэратора, которые размещены на деаэраторной этажерке с внешней стороны защитной оболочки на высоте 31,2 м и 28,6 м от основания ЗО, в каждом деаэраторе содержится порядка 165 тонн воды при температуре 165 град. С и давлении 0,65 МПа.

Технически возможно организовать подачу перегретой воды из деаэраторов под защитную оболочку к форсункам-распылителям за счет давления насыщенного пара в деаэраторе и гидростатического давления, обусловленного высотой установки деаэраторов относительно распылителей. Подача перегретой воды позволит увеличить объемную долю пара под защитной оболочкой и получить дополнительный эффект подавления детонации и горения водорода за счет образования тонкораспыленной воды (водяного тумана).

3. Организация подачи перегретой воды (управление тяжелой аварией) в пространство под защитной оболочкой должна осуществляться по сигналам датчиков объемной концентрации водорода и давления парогазовой смеси таким образом, чтобы давление парогазовой смеси не превысило предельно допустимого. Важно отметить, что предлагаемое инженерное решение может быть реализовано даже в случае наиболее неблагоприятного сценария тяжелой аварии - длительного обесточивания АЭС, поскольку открытие или закрытие запорных клапанов может осуществляться оператором вручную.

4. Одновременно с распылением перегретой воды осуществляется снижение объемной концентрации водорода в парогазовой смеси до безопасного уровня с помощью средств пассивной каталитической рекомбинации водорода, установленных под защитной оболочкой. Такой способ управления тяжелой аварией в сочетании с достаточным запасом перегретой воды в деаэраторах позволит избежать возникновения критических условий детонации водорода в течение периода времени, необходимого для снижения объемной концентрации водорода до безопасного уровня с помощью рекомбинаторов.

5. Учитывая остроту и актуальность проблемы водородной безопасности АЭС необходимо провести комплекс расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, результаты которых позволят определить технические требования к конфигурации и параметрам перспективной инженерной системы подавления детонации и горения водорода при тяжелых запроектных авариях, основанной на использовании запаса перегретой воды в деаэраторах.

### Литература

1. Walker J.S. Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective. Berkeley Univer. - 2004, 231 p.
2. Блинова И.В., Соколова И.Д. Авария на АЭС Фукусима -1 и ее влияние на развитие ядерной энергетики. Атомная техника за рубежом, № 7, 2011, с. 3-18.
3. Микеев А.К. Противопожарная защита АЭС, М., Энергоатомиздат. - 1990.
4. Berman M., Cummings J.C.. Hydrogen Behavior in Light-Water Reactors. Nuclear Safety, Vol. 25, No. 1, 1984.
5. Mitigation of Hydrogen Hazards in Severe Accidents in NPP. IAEA TECDOC 1661, 2011.
6. Медведев С.П., Гельфанд Б.Е., Поленов А.Н., Хомик С.В. Пределы горения водородовоздушных смесей в присутствии ультрадисперсных капель воды (тумана). Физика горения и взрыва. - 2002, т. 38, № 4, с. 3-7
7. Фролов С.М., Гельфанд Б.Е. К вопросу о подавлении детонации завесами и пенами. Физика горения и взрыва. Т.27, №6, 1990.
8. Гидаспов В.Ю., Стрельцов В.Ю. Исследование влияния капель распыленной воды на воспламенение и детонацию водородо-воздушной смеси. Математическое моделирование. Том 16, № 6, с. 123- 126, 2004 г.
9. Беликов В.В., Семенов В.Н., Стародубцева Л.П., Фокин А.Л. Моделирование трехмерной структуры детонационной волны в двухфазной газокapельной системе. Известия Академии наук. Энергетика. № 3, 2009 г.
10. Проектирование и применение установок пожаротушения водой аэрозольного распыла. ВНИИ ПО МВД СССР, М. - 1991
11. Роечко В.В., Додонов Е.Д. Температурно-активированная вода – новое слово в развитии техники пожаротушения. Материалы четырнадцатой научно-технической конференции “Системы безопасности” – СБ-2005, М., Академия ГПС МЧС России. - 2005 г.
12. Большов Л.А., Кочнев С.И., Сегаль М.Д., Семенов В.Н. Патент РФ на полезную модель № 113403 “Устройство для подавления детонации и горения водорода”, 12.02. 2012.

### Сведения об авторах

**Большов Леонид Александрович** – директор Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, тел (495) 955 22 47

**Кочнев Станислав Иванович** - инженер-физик, т. (495) 608 45 58

**Сегаль Михаил Давыдович** - ведущий научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, тел. (495) 955 22 14

**Семенов Владимир Николаевич** – зав. отделом Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, т. (495) 955 22 59

УДК 614.824(082)

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И УПРАВЛЕНИЮ РИСКАМИ

Член-корреспондент РАН *Н.А.Махутов*, доктор техн. наук *Р.С.Ахметханов*

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН

*Рассмотрен системный подход к анализу и управлению рисками. Для этого используется система обобщенных соотношений, описывающих риски систем «человек - технический объект – среда» и проводится анализ рисков с использованием матричных выражений для риска, вероятности возникновения аварии и возможного ущерба. Это позволяет наглядно отразить системные, общие и интегральные особенности риска и облегчить процессы анализа и управления ими. Основным критерием управления безопасностью является снижение рисков при оптимальном использовании материальных и финансовых средств.*

**Ключевые слова:** риск, вероятность, ущерб, управление риском, финансовые и материальные затраты.

## A SYSTEMATIC APPROACH TO RISK EVALUATION AND MANAGEMENT

Corresponding member of the RAS *N.A.Makhutov*, Dr. (Tech.) *R.S. Akhmetkhanov*

Institute of Machine Sciences RAS

*This article describes a system approach to the analysis and management of risks. For this is used the system of generalized relations, describing the risks systems «man - technical object - environment» and a risk analysis with the use of matrix expressions for the risk, the probability of accidents and damage. This allows you to clearly reflect the system, general and integrated features of the risk and of facilitating the processes of analysis and management. The main criterion of the safety management is the reduction of risks in the optimal use of material and financial resources.*

**Key words:** risk, the probability of damage, risk management, financial and material costs.

При оценке рисков в техногенной сфере, как правило, используются дискретные модели. Обычно риск  $R$  определяется вероятностью возникновения аварийной ситуации  $P$  и возможным ущербом  $U$  [1-6]

$$R = P \cdot U. \quad (1)$$

В случае, когда риск  $R$  рассматривается для  $n$ -го числа возможных аварийных ситуаций, то выражение для определения риска будет следующим

$$R = \sum P_i U_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Величины вероятности  $P$  и ущерба  $U$  определяются параметрами системы, ее текущим состоянием, происходящими технологическими и управляющими процессами, которые связаны с потоками в системе энергии  $E$ , вещества  $W$  и информации  $I$ .

Обобщенная система определяющих соотношений для анализа и управления рисками в сложных системах  $R_i(t)$  для момента времени  $t$  может быть описана в форме [2]

$$\begin{aligned} R_i(t) &= F\{P_i(t), U_i(t)\}, \\ P_i(t) &= F_P\{P_N(t), P_T(t), P_S(t)\}, \\ U_i(t) &= F_U\{U_N(t), U_T(t), U_S(t)\}, \\ R_i(t) &= F_R\{R_N(t), R_T(t), R_S(t)\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_i(t)$ ,  $U_i(t)$  – интегральные (суммарные) вероятности и ущербы для момента времени  $t$ ;



$P_N(t), P_T(t), P_S(t)$  - вероятности возникновения в момент времени  $t$  неблагоприятных (опасных) событий, обусловленные человеческим фактором, технической системой и внешней средой соответственно;

$U_N(t), U_T(t), U_S(t)$  - ущербы, наносимые неблагоприятными (опасными) событиями в момент времени  $t$  человеку, техническому объекту и внешней среде соответственно.

Приведенная система отношений представляет собой обобщенную модель риска для системы «человек - технический объект-среда».

При оценке рисков рассматриваются опасные процессы и вредные вещества, действующие на технические объекты, население и окружающую среду. Под *опасностью* понимаются явления, процессы, действия или условия, чреватые наличием некоторого потенциала (как правило, это энергия, вещество или информация), который может нанести ущерб здоровью людей, привести к их гибели, нанести ущерб окружающей среде, привести к потере сохранности материальных объектов.

Изучение физических процессов, которые приводят к изменению показателей качества, состоянию технических объектов и их элементов, наиболее полно можно провести лишь в рамках системного подхода при анализе системы «человек - машина - среда», учитывающей все особенности техногенных аварий и катастроф. В основе системного подхода при изучении сложных систем лежат системные принципы, к которым относятся: целостность, структурность, взаимозависимость системы и среды, иерархичность, множественность описания каждой системы и др.[7].

Целостность — принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и не выводимость свойств системы из свойств составляющих ее элементов, так как свойства объекта как целостной системы определяются не столько суммированием свойств его отдельных элементов, а только свойствами его структуры.

Взаимозависимость системы и среды состоит в том, что система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, являясь при этом ведущим компонентом этого взаимодействия. В системе «человек - машина – среда» важным компонентом этих взаимодействий является человек, и эффективность функционирования системы во многом определяется его квалификацией и исполнительностью, которые оказывают большое влияние на надежность и безопасность технических систем, в особенности опасных производственных (ОПО) и критически важных (КВО) объектов.

Множественность описания каждой системы состоит в том, что вследствие сложности системы ее адекватное познание требует построения множества различных сценариев и моделей, каждая из которых описывает лишь определенный аспект функционирования системы.

С учетом системного подхода, источников и реципиентов техногенной ЧС сценарии возникновения и развития ЧС могут быть разделены на несколько типов. Например, рассматривая природно-техногенно-социальную (ПТС) систему, обычно используют укрупненную общую классификацию опасностей и рисков. В этом случае рассматривается взаимодействие сфер - природной, техногенной и социальной. Например, если ЧС возникла в природной сфере, то природная ЧС инициирует ЧС техногенного характера, которая взаимодействует с социальной сферой. В ответ на действия ЧС природного и техногенного характера социальная сфера воздействует на природную сферу.

Исходя из классификации опасностей и рисков по источникам их возникновения и поражаемым объектам, можно для техногенной сферы выделить следующие типы сценариев техногенных катастроф: природно-техногенный, социо-техногенный, техно-природный, техно-социальный и техногенный. Каждый из приведенных типов отличается пространственно-временными особенностями, инициирующими и опасными факторам, рассматриваемых с точки отношения их к источникам или реципиентам.

Рассмотрим обобщенную поверхность риска (рис. 1) построенную по выражению (1). При построении этой поверхности вероятность аварии  $P$  рассматривается в диапазоне от 0 до 1,0. А ущерб  $U$  от 0 до ущербов катастроф планетарного типа. Вводя фиксированные значения рисков, получим линии равного риска. Риски определенного уровня возможны при различных значениях вероятностей  $P$  и ущербов  $U$  возможных аварий и катастроф.

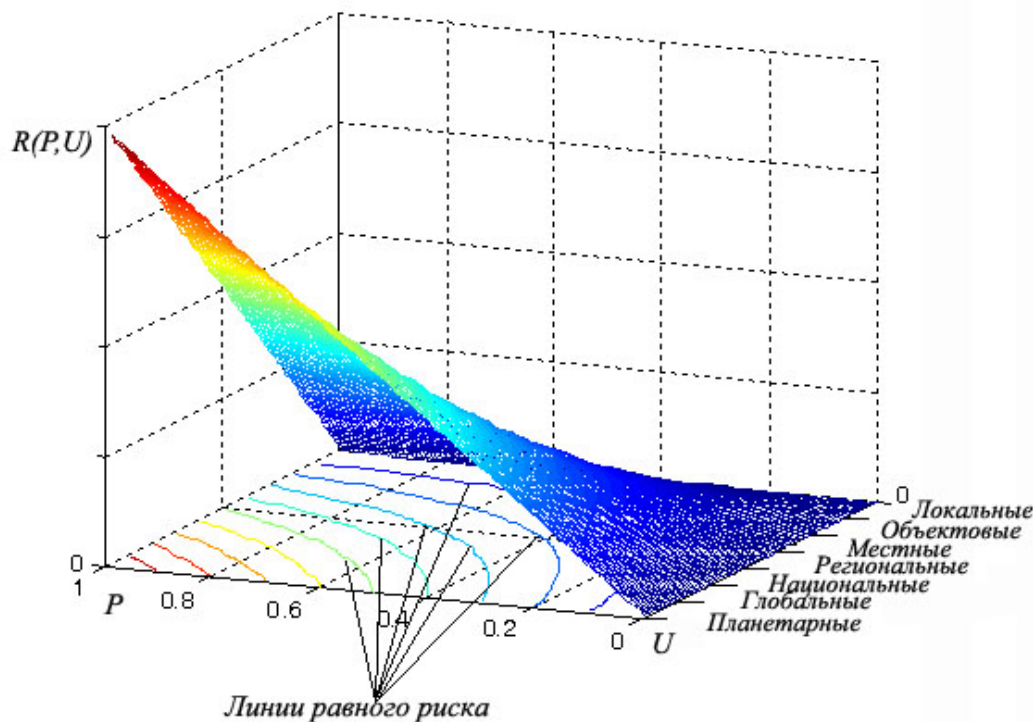


Рис. 1. Обобщенная поверхность риска  $R(P, U)$

Существуют ситуации, когда риски для различных объектов или процессов могут быть равны. Но восприятие их людьми может быть различным. Наиболее значимыми рисками считаются обычно те, которые происходят редко, но с большими ущербами. А те, которые происходят часто, но с малыми ущербами не воспринимаются населением, как правило, серьезно. С точки зрения управления рисками это неверно. Управление должно производиться для всех видов риска без учета их восприятия обществом с учетом необходимых оптимальных затрат на их снижение. Рассмотрим различные варианты распределения характеристик риска на плоскости  $P0U$ . Часто при анализе рисков приводятся зависимости, связывающие между собой вероятности и ущербы. На рис. 2 приведен такой пример. Пусть имеется зависимость  $R=f(P, U)$ , для которой можно построить линию, связывающую независимые величины  $P$  и  $U$  ( $P=f(U)$  или  $U=f(P)$ ). В этом случае риск определяется интегралом по линии  $L$ , лежащей на плоскости  $U0P$

$$R = \int_L f(U, P) ds. \quad (4)$$

Для определения данного интеграла следует представить линию  $L(A, B)$  в параметрической форме  $U=u(t)$ ,  $P=p(t)$ , где  $t$  отлично от длины дуги  $s$ . Но  $s$  можно считать функцией от  $t$ , причем непрерывно дифференцируемой в интервале  $[t_{1(A)}, t_{2(B)}]$ . Деля в интеграле подстановку  $ds = \sqrt{u'^2(t) + p'^2(t)} dt$ , получим следующее выражение

$$R = \int_L f(U, P) ds = \int_{t_1}^{t_2} f[p(t), u(t)] \sqrt{u'^2(t) + p'^2(t)} dt \quad (5)$$

В случае, когда аварийные и катастрофические ситуации могут распределяться с различной плотностью  $f(s)$  на линии  $L$ , выражение для определения интегрального риска будет следующим

$$R = \int_L f(U, P) f(s) ds. \quad (6)$$

Среднее значение риска определится величиной

$$R = (\int_L f(U, P) f(s) ds) / M, \quad (7)$$

где  $M = |L_{f(s)}| = \int_L f(s) ds$  – общее число рассматриваемых аварий на  $L$ . Характер распределения плотности аварийных и катастрофических ситуаций  $f(s)$  может иметь унимодальный или полимодальный характер. При управлении рисками следует учитывать и этот фактор.

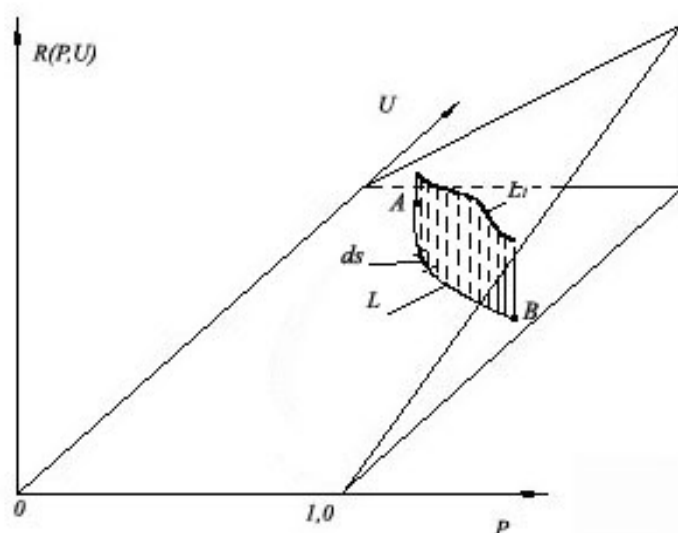


Рис.2. Определение интегрального риска по линии  $L(P, U)$

В случае, когда аварии и катастрофы заполняют некоторую область  $S$ , то интегральная оценка риска определяется следующим значением

$$R(S) = \iint_S f(P, U) d\sigma. \quad (8)$$

Также в данном выражении можно учесть плотность заполнения области  $S$  авариями и катастрофами  $f(S)$ , то выражение (8) примет следующий вид

$$R(S) = \iint_S f(S) f(P, U) d\sigma \quad (9)$$

Из приведенных выше представлений следует вывод о необходимости уменьшения числа возможных аварий, т.е. уменьшения длины линии  $L$  и площади области  $S$ , а также их смещение в сторону меньших значений характеристик риска - вероятности  $P$  и ущерба  $U$ . Иллюстрация приведена на рис.4.

Для оптимального управления рисками следует учитывать системные свойства объектов и системные свойства рисков. Многие другие сложные и ответственные инженерные сооружения, являются сложными природно-техническими системами (ПТС), относящимися с точки зрения современной теории систем к классу сложных систем.

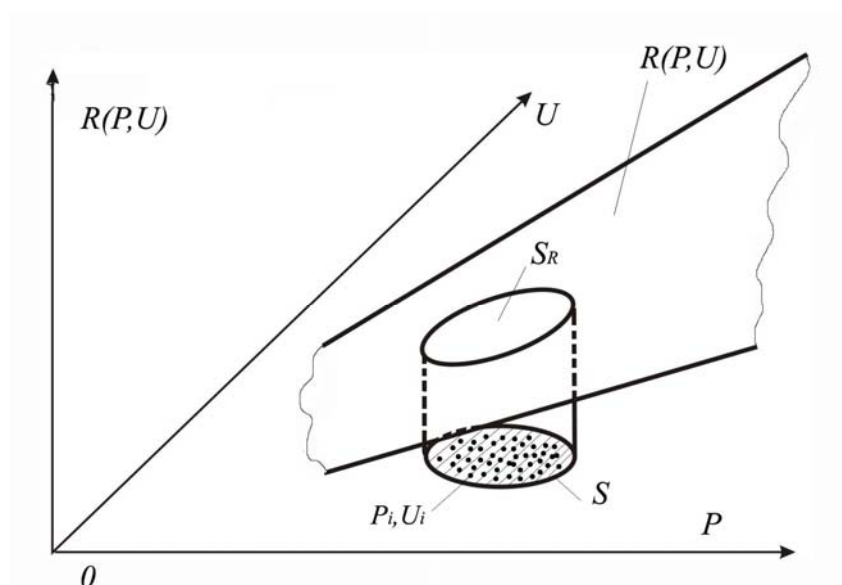


Рис.3. Определение интегрального риска для области  $S$ :  $S_R$  – область на поверхности риска  $R=f(P, U)$

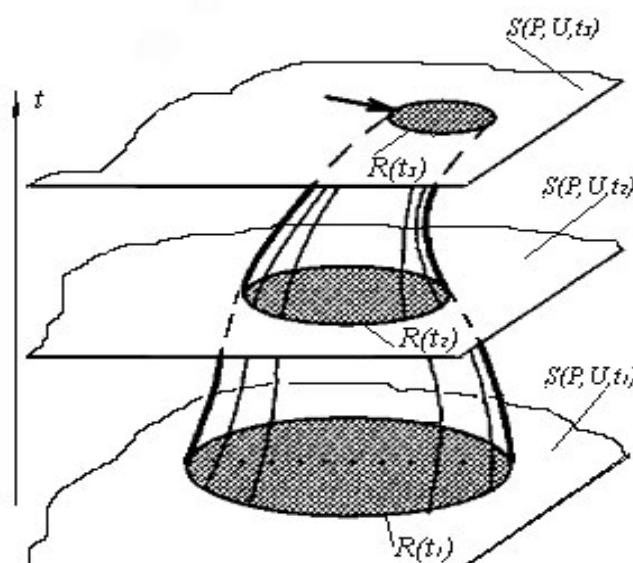


Рис.4. Управление рисками - снижение риска:  $R(t_1) \rightarrow R(t_2) \rightarrow R(t_3)$

Характерными особенностями таких систем, как известно, являются:

- большое число подсистем и элементов со сложными связями, достаточно полная формализация которых связана со значительными трудностями;
- непостоянство структуры и функций объекта;
- многокритериальность задачи, а зачастую и нечеткое значение самих критериев целесообразности (экономичности, надежности, безопасности и др.);
- неполнота и недостоверность исходной информации;
- существенная роль людей, принимающих решения на всех этапах функционирования объекта.

Чтобы обеспечить безопасность по критериям приемлемых  $[R(t)]$  надо внимательно следить за изменением системных свойств объектов безопасности.

Часто наиболее серьезные угрозы безопасности находятся на системном уровне. Разумеется, можно ценой больших затрат  $Z(t)$  повысить надежность отдельных элементов, приборов, структур, однако часто это не снижает риски  $R(t)$  и не повышает существенно безопасность объекта и комплекса в целом. Ответ на возникшую угрозу должен быть комплексным и системным.

Поскольку анализ рисков  $R(t)$  связан либо с эффектами, возникающими в сложных системах, либо с ответом на них, который дает сложная многоэлементная система, естественно воспользоваться методами синергетики (теория совместного действия) или нелинейной динамики.

Как отмечалось ранее, системные свойства связаны с тем, что у сложной системы, у целого, могут появиться свойства, которыми не обладают части [7]. В нынешнем, быстро развивающемся мире создаются и уничтожаются сотни и тысячи новых причинно-следственных связей, а с ними появляются и новые риски  $R(t)$ . Длинная цепь таких связей может привести к тому, что объект начинает вести себя парадоксальным образом, не определяемым на основе анализа отдельных элементов. Для этого требуется междисциплинарный подход к оценкам рисков  $R(t)$  и  $[R(t)]$ , разработка которого должна основываться на совместных, кооперативных усилиях специалистов в области управления, кибернетики, технологий и других научных дисциплин. Этот подход должен изучать возникновение новых свойств у сложной системы, состоящей из взаимодействующих элементов, которыми отдельные элементы не обладают.

Сложность системы требует на начальном этапе рассматривать ее на приближенных моделях, учитывающих несколько укрупненных подсистем и связи между ними. В этом случае техническую систему можно представить системой, состоящей из трех основных подсистем: внешняя среда, технический объект и человек. Представление системы, состоящей из подсистем, является важным методологическим аспектом решения задачи анализа взаимодействий между подсистемами, определяющих синергетические, кумулятивные эффекты аварий и техногенных катастроф. А в указанных подсистемах могут быть рассмотрены свои подсистемы со своими внутренними и внешними взаимодействиями, изменениями параметров и т.д.. На рис. 5 приведено схематически на плоскости  $P/U$  взаимодействие подсистем четырех, их связанность (темные области). Светлые области, где риск определяется только самой подсистемой. Связанность подсистем может быть по значениям вероятностей  $P_i$  и ущербов  $U_i$ .

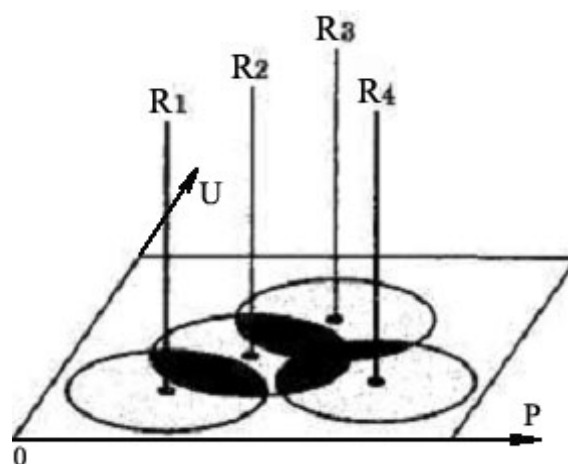


Рис. 5. Иллюстрация связанности рисков для подсистем

Оценка риска с учетом системных свойств может быть реализована с помощью матриц, т.е. риски представить в виде матричных выражений. При этом эти матрицы, как правило, не являются симметричными.

При рассмотрении системы, составленной из подсистем, матрица рисков представляется состоящей из диагональных и внедиагональных блоков. Диагональные элементы матрицы рисков характеризуют возможные потери данной подсистемы при возникновении ЧС в ней. Внедиагональные элементы, характеризующие связанность подсистем по критерию риска (вероятности, ущерба), описывают синергетическое развитие ЧС и ее распространение по системе.

$$R=P \times U = \begin{vmatrix} P_{11}U_{11} & \dots & P_{1i}U_{1i} & \dots & P_{1n}U_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}U_{li} & \dots & P_{ii}U_{ii} & \dots & P_{li}U_{li} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}U_{li} & \dots & P_{li}U_{li} & \dots & P_{nn}U_{nn} \end{vmatrix} \quad (10)$$

где  $P$ ,  $U$  – матрицы вероятности и ущерба. Умножение матриц поэлементное. В случае учета времени  $t$  выражение будет следующим

$$R(t)=P(t) \times U(t)= \begin{vmatrix} P_{11}(t)U_{11}(t) & \dots & P_{1i}(t)U_{1i}(t) & \dots & P_{1n}(t)U_{1n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}(t)U_{li}(t) & \dots & P_{ii}(t)U_{ii}(t) & \dots & P_{li}(t)U_{li}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{li}(t)U_{li}(t) & \dots & P_{li}(t)U_{li}(t) & \dots & P_{nn}(t)U_{nn}(t) \end{vmatrix} \quad (11)$$

Данное представление позволяет проводить анализ структуры взаимодействий в системе при возникновении ЧС, которые могут быть представлены в виде функций зависящих от времени  $t$ . Матричная структура описания риска позволяет моделировать сценарии, при этом вводя и обратные связи (воздействия) между подсистемами.

Интегральный риск определяется следующим выражением

$$R=\sum_i \sum_j P_{ij}U_{ij}, i=1, \dots, n; j=1, \dots, n. \quad (12)$$

Диагональные элементы  $R_{ii}$  определяют риски отдельных подсистем, внедиагональные элементы  $R_{ij}$  и  $R_{ji}$  ( $i \neq j$ ) связанность подсистем. Эти элементы характеризуют некоторым образом и возможные сценарии развития аварий с одной подсистемы с охватом и других подсистем. Условие  $R_{ij}=R_{ji}=0$ , ( $i \neq j$ ) является условием несвязанности подсистем по риску. Условие  $R_{ij}=R_{ji}=0$ , ( $i \neq j$ ) для всех подсистем обозначает несвязанность и изолированность всех подсистем между собой.

При рассмотрении системы, составленной из подсистем, матрица ущербов представляется состоящей из диагональных и внедиагональных блоков. Диагональные элементы матрицы ущербов характеризуют возможные потери данного элемента системы при возникновении ЧС в данном элементе. Внедиагональные элементы, характеризующие связанность элементов системы по критерию ущерба, описывают синергетическое развитие ЧС и ее распространение на систему. Данная матрица строится на основании оценки возможных максимальных ущербов элементов (подсистем) системы. При этом учитываются все виды ущербов. Вероятность возникновения ЧС при таком системном подходе характеризуется матрицей вероятности возникновения ЧС, содержащей вероятностные оценки воздействия ЧС на элементы системы в соответствии со сценарием развития ЧС. Зависимость риска от степени защищенности элементов системы, их пространственного распределения относительно зоны возникновения ЧС оценивается матрицей уязвимости системы от ЧС, содержащей характеристики уязвимости элементов системы.

При системном подходе можно разрабатывать критерии для классификации систем, учитывающие их системные особенности. Такое представление более удобное для принятия решений при управлении безопасностью систем по критерию риска, позволяющие принимать как решения локальные, так и системные решения.

Таким образом, для сложных систем, состоящих из множества подсистем  $n$ , снижение рисков требует выполнения требований по изоляции подсистем и снижению их риска. Для этого введем оценку связанности подсистем по риску

$$\alpha_{Rij} = (\sum_k \sum_l P^{kl}_{ij} U^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l P^{kl}_{ji} U^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k P^{kk}_{ii} U^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l P^{ll}_{jj} U^{ll}_{jj}), \quad (13)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

где  $n$  – число подсистем,  $m_i$  – размерность блока, описывающего риск  $i$ -ой подсистемы,  $m_j$  – размерность блока, описывающего риск  $j$ -ой подсистемы

Также введем оценку связанности по вероятности

$$\alpha_{Pij} = (\sum_k \sum_l P^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l P^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k P^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l P^{ll}_{jj}), \quad (14)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

Введем оценку связанности по ущербу

$$\alpha_{Uij} = (\sum_k \sum_l U^{kl}_{ij} + \sum_k \sum_l U^{kl}_{ji}) / (\sum_k \sum_k U^{kk}_{ii} + \sum_l \sum_l U^{ll}_{jj}), \quad (15)$$

$$i=1, \dots, n; j=1, \dots, n; k=1, \dots, m_i; l=1, \dots, m_j.$$

При описании риска в динамике эти показатели будут переменными по времени. В данной формулировке риска удобно строить схематичные представления динамики возникновения и развития аварии. В этом случае матрица  $P$  играет роль иницирующей матрицы, по которой строится непрерывный или дискретный алгоритм имитационной модели.

С учетом функции риска в виде  $R=f(X)$  полный дифференциал  $dR$  будет иметь вид

$$dR = \left( \frac{\partial R}{\partial X_1} \right) dX_1 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial X_{i1}} \right) dX_{i1} + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial X_n} \right) dX_n + \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (16)$$

$$i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $X$  – параметры системы. Учет в выражении полного дифференциала члена  $\frac{\partial R}{\partial t} dt$  диктуется тем обстоятельством, что риск  $R$  зависит и от времени эксплуатации технического объекта. Как правило, со временем уровень риска в неуправляемой системе возрастает.

Члены дифференциала  $\frac{\partial R}{\partial X_i}$  определяют зависимость риска от изменений параметров системы (локальные и системные параметры). Величины частных производных по параметрам системы  $X$  позволяют определить направление управляемого движения системы к минимальному риску. При учете финансовых издержек  $Z_i$  в выражение (16) вводятся члены, определяющие их влияние на снижение риска. Тогда риск можно выразить следующей функцией

$$R(t) = f(X, X(Z), Z, t), \quad (17)$$

где  $X$  – параметры системы, определяющие уровень риска в системе и не требующие финансового и материального обеспечения,  $X(Z)$  – параметры системы, определяющие уровень риска в системе и требующие финансовых и материальных затрат на снижение риска,  $Z$  – финансовые и материальные затраты на управление рисками. Тогда имеем следующее выражение для  $dR$

$$dR = \sum_1^n \left( \frac{\partial R}{\partial X_i} \right) dX_i + \sum_1^m \left( \frac{\partial R}{\partial X_j} \frac{\partial X}{\partial Z_j} \right) dZ_j + \sum_1^l \left( \frac{\partial R}{\partial Z_k} \right) dZ_k + \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (18)$$

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, \dots, l,$$

Коэффициента  $\frac{\partial R}{\partial Z_i}$  - определяет эффективность использования финансовых материальных средств. Эти затраты могут быть направлены на реализацию различных методов и механизмов управления рисками и на управление параметрами системы  $X_i$  влияющими на уровень риска в системе. Условием для снижения рисков является

$$\sum_1^n \left( \frac{\partial R}{\partial X_i} \right) dX_i + \sum_1^m \left( \frac{\partial R}{\partial X_j} \frac{\partial X_j}{\partial Z_j} \right) dZ_j + \sum_1^l \left( \frac{\partial R}{\partial Z_k} \right) dZ_k >> \frac{\partial R}{\partial t} dt, \quad (19),$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

Исходя из общих представлений, управление рисками можно представить в графическом виде (см. рис. 6) - в виде функции общих затрат на управление рисками и компенсацию ущерба от аварий и катастроф. Оптимальное решение, как правило, достигается при управлении рисками комплексно по вероятности  $P$  и ущербу  $U$ .

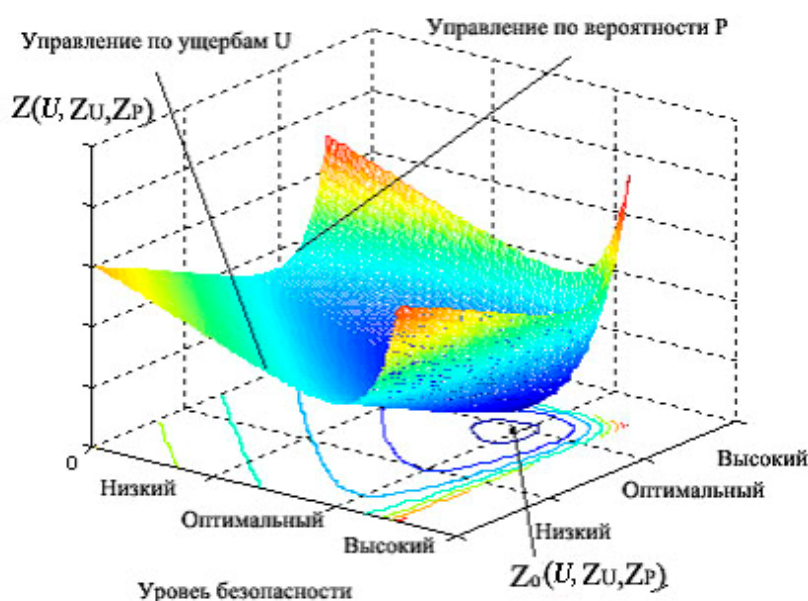


Рис.6. Управление рисками – определение минимальных суммарных затрат на управление рисками и компенсацию ущерба  $Z(U, Z_P, Z_U)$

На рис. 7 представлено распределение коэффициентов эффективности использования финансовых средств на снижение рисков  $\partial P / \partial Z$ ,  $\partial U / \partial Z$ . Наилучшими решениями при управлении рисками являются решения с максимальными значениями этих коэффициентов (: I, II, III – области эффективного использования финансовых средств), наиболее оптимальными решениями являются решения на линии  $L_{max}$ .

В области теории и практики управления рисками  $R(t)$  в целом ряде случаев задача ставится как раздельная – по линии снижения вероятностей  $P(t)$  возникновения различного уровня чрезвычайных (аварийных и катастрофических) ситуаций до приемлемых уровней  $[P(t)]$ . Эти уровни в высокорисковых комплексах, таких как ядерный, ракетно-космический, энергетический, нефтегазовый нормируются как требуемые (например, вероятность  $[P(t)]$  тяжелой аварии с расплавлением активной зоны реактора на АЭС назначается на уровне  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  1/год). Однако, реальные  $P(t)$  и требуемые  $[P(t)]$  вероятности оказываются существенно (более чем на порядок) отличающимися в опасную сторону -  $P(t) > [P(t)]$ . Это отличие возрастает по мере снижения  $[P(t)]$  при переходе от штатных ситуаций к нештатным, проектным, запроектным и гипотетическим.



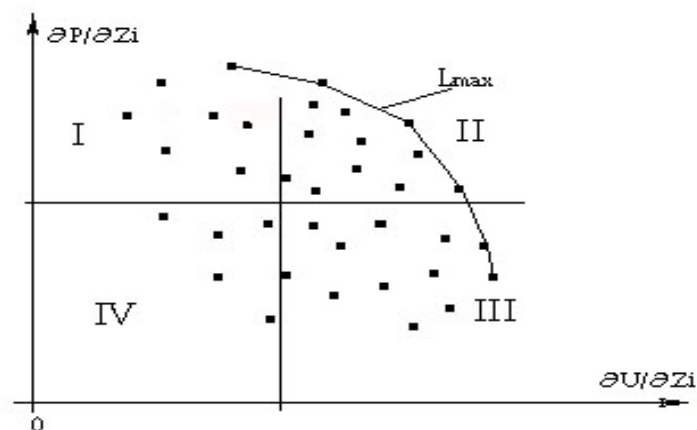


Рис.7. Распределение коэффициентов эффективности использования финансовых средств на снижение рисков  $\partial P/\partial Z, \partial U/\partial Z$ : I, II, III – области эффективного использования финансовых средств,  $L_{\max}$  - линия на которой лежат наиболее эффективные решения по вложению финансовых средств

В тех случаях, когда ущербы  $U(t)$  тяжелых катастроф могут оказываться заведомо неприемлемым и трудно определяемым, управление риском сводится к предотвращению таких катастроф без прямого назначения  $[P(t)]$ . Это может относиться к взрывам стратегических ядерных боеприпасов с учетом всех возможных источников (технических, природных, несанкционированных, террористических).

Раздельная задача в управлении рисками  $R(t)$  по линии анализа ущербов  $U(t)$  обычно выдвигается тогда, когда тяжелые аварии и катастрофы приводят к значительным потерям человеческих жизней или к большим экологическим ущербам, связанным с долговременным воздействием на природную среду. Это заражение почв и акваторий химическими и радиационно-опасными веществами – разливы нефти из танкеров и трубопроводов, выбросы радиоактивных отходов, а также природные катастрофы (наводнения, оползни, землетрясения, сели).

Исходя из основных системных позиций, в качестве основных критериев эффективности управления безопасностью по критериям рисков и защитой в рассматриваемом случае целесообразно принять:

- вероятность повышения или сохранения качества жизни  $P_v(t)$  на научно обоснованном и в социально-экономическом отношении, оправданном на данном этапе развития общества, уровне с учетом вероятности  $P(t)$  возникновения опасных процессов и чрезвычайных ситуаций;
- относительное повышение качества жизни за счет мер и воздействий по снижению риска и управлению безопасностью.

Эти условия в общем виде можно записать в форме

$$P_v(t) \geq P(t); \quad dV_K(t)/dt \geq dR(t)/dt \quad (20)$$

Для оценки эффективности управления безопасностью и защитой могут также использоваться некоторые дополнительные частные критерии, отражающие отдельные наиболее важные стороны целевой функции безопасности.

К числу частных критериев следует отнести:

- относительное снижение уровня риска  $dR(t)/dt \leq 0$  возникновения чрезмерных (опасных) воздействий техногенного, природного и экологического характера на население, природную среду и объекты за счет предпринимаемых мер и действий по обеспечению безопасности при росте затрат ( $dZ(t)/dt \geq 0$ );

- относительное уменьшение математического ожидания ущерба ( $dR(t)/dt \leq 0$ ), наносимого населению, природной среде и объектам при воздействиях техногенного, природного, экологического, террористического и военного характера при росте душевого дохода ( $dV_k(t)/dt \geq 0$ );

- относительное увеличение средней ожидаемой продолжительности предстоящей жизни ( $dT_g(t)/dt \geq 0$ ) за счет предпринимаемых мер и действий по обеспечению безопасности.

Перечисленные выше основные и дополнительные критерии отвечают требованиям, предъявляемым к оценке эффективности с точки зрения теории и практики исследования операций. Они являются представительными, правильно отражают существо и целевую функцию безопасности, могут быть оценены с помощью количественных показателей.

С другой стороны, проблемы и методы управления риском ЧС можно подразделить на нормативно-правовые, научно-технические, экономические и административные, которые, безусловно тесно между собой взаимосвязаны.

При этом на заданном отрезке времени  $t$  невозможно провести четкую границу между данными методами и механизмами. Нормативно-правовые акты должны закладывать основу методов администрирования и действия экономических механизмов; а административное управление в свою очередь включает в себя и контроль действия экономических рычагов. При этом экономические механизмы по своей сути должны определять оптимальную или, по крайней мере, эффективную структуру администрирования и ее нормативно-правовую базу, опирающиеся на научно-технические решения.

Методы и проблемы управления риском опасных процессов, явлений и объектов могут иметь глобальный, национальный, местный и объектовый уровень.

При обосновании и типов управления речь должна идти о широком обобщающем подходе, опирающемся на математику, на естественнонаучные дисциплины, на достижения гуманитарных наук. В самом деле, обратим внимание на типы управления (таблица). Нормативное управление требует создания методологии, правил и категорий риска, доведенных до общепринятых норм и правил по величинам  $P(t)$ ,  $U(t)$ ,  $R(t)$  и  $[R(t)]$ .

Оперативное управление рисками состоит в соблюдении указанного выше нормативного подхода с учетом возникающих на заданном отрезке времени несущественных вариаций параметров риска  $P(t)$ ,  $U(t)$ ,  $Z(t)$ .

Таблица

*Типы управления*

| Тип управления | Средства   | Задачи     | Цели       | Идеалы           |
|----------------|------------|------------|------------|------------------|
| Оперативное    | выбираются | даны       | Даны       | не формулируются |
| Тактическое    | выбираются | выбираются | Даны       | не формулируются |
| Стратегическое | выбираются | выбираются | выбираются | не формулируются |
| Нормативное    | выбираются | выбираются | выбираются | выбираются       |

Тактическое управление рисками подразумевает рациональный выбор заданных уровней параметров  $R(t)$ ,  $P(t)$  и  $U(t)$  и достижение требуемого в заданный момент времени  $t$  уровня приемлемого риска.

Теперь рассмотрим вопрос достижимости целевого уровня риска. На рис. 8 приведена поверхность риска  $R(t, Z)$  в координатах «время  $t$  – затраты  $Z$ ». В данном качественном представлении считается, что риск в системе без управления растет. При определенных затратах  $Z$  риск  $R(t)$  может быть снижен до определенного уров-

ня, который зависит от эффективности управления - эффективности использования экономических средств. При решении задачи снижения риска до заданного приемлемого уровня  $[R(t)]$  требуется учитывать рост риска со временем  $t$ , время достижения заданного уровня риска и необходимые для этого финансовые затраты  $Z$ . На рис. 8 приведены две точки с различным уровнем риска  $R(t, Z)$ , достижение которых требует определенных затрат  $Z_i$  и времени  $t_i$ . При этом затраты  $Z_i$  являются постоянными величинами.

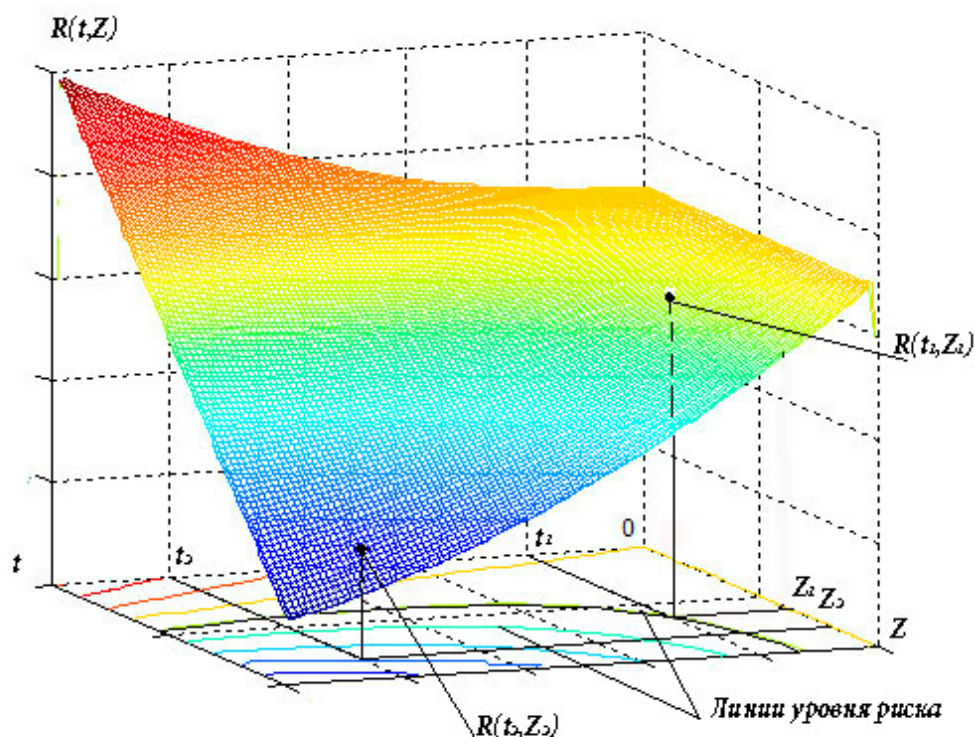


Рис.8. Управление рисками с учетом времени  $t$  и финансовых затрат  $Z$

А эффективность использования средств и необходимое количество финансовых средств можно косвенно проиллюстрировать рис. 9, где приведены данные по экологичности экономик стран мира с различным уровнем дохода на душу населения (доля ВВП,  $\$/(\text{чел.} \cdot \text{год})$ )[8]. Чем развитее экономически государство, тем ниже экологический риск (ниже экологичность экономики) – наиболее развитые технологии и больше вкладывается средств. В рамках одинаковых значений дохода на душу населения экологический риск для высокоразвитых стран меняется незначительно, тогда как для стран с низким доходом разброс очень велик. Это зависит, как правило, от наличия в этих странах опасных и вредных в экологическом плане производств.

Возможна ситуация, при которой не существует эффективных и приемлемых с экономической точки зрения мер для снижения вероятности аварии или катастрофы. В этом случае приходится поднимать планку приемлемого риска (вероятности  $P$ ) и переносить центр тяжести на смягчение последствий и выработку планов восстановления после аварий, стихийных бедствий и иных происшествий.

Таким образом, управление безопасностью через снижение рисков  $R(t)$  сводится к операциям:

- понижение класса аварий и катастроф в направлении;
- увеличение периода между авариями и катастрофами данного класса;

- снижение типа аварийных и катастрофических ситуаций в направлении;
- ограничение сочетаний групп поражающих факторов;
- совершенствование групп потенциально опасных объектов (ГО) или отказ от них при неприемлемых рисках, когда  $R(t) \rightarrow R_C(t)$ , и минимизация базовых параметров поражающих факторов.

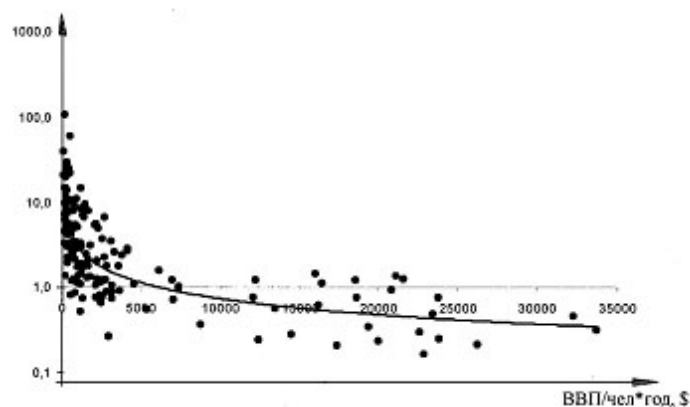


Рис. 9. Зависимость экологичности экономики от ВВП на человека в год (\$) по странам мира. Средняя экологичность по миру принята величиной 1,0[8]

Поэтому, в наиболее общем случае, методы управления риском  $R$  в соответствии с выражением (1) можно подразделить на методы, направленные на:

- снижение вероятности  $P$  (снижение риска);
- уменьшение ущерба  $U$  (смягчение последствий);
- повышение эффективности затрат по снижению рисков  $R(t)$  до приемлемого уровня  $[R(t)]$ .

Деятельность по управлению рисками в сложных системах должна быть предварительно спланирована с учетом системных свойств и методов, механизмов управления рисками, а также определением необходимого уровня финансовых и материальных затрат.

## Литература

1. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 1. Основы анализа и регулирования безопасности. – М.: МГФ «Знание». - 2006, 640 с.
2. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками. – М.: МГФ «Знание». - 2006, 752 с.
3. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 3. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. – М.: МГФ «Знание». - 2007, 815 с.
4. Безопасность России. Анализ рисков и проблем безопасности. Часть 4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности. – М.: МГФ «Знание». - 2007, 857с.2.
5. Безопасность России. Анализ рисков и управление безопасностью. Методические рекомендации. – М.:МГФ «Знание». - 2008, 528с.
6. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С., Фалеев М.И., Кульба В.В., Малинецкий Г.Г., Махутов Н.А. Управление риском: риск, устойчивое развитие, синергетика. - М.: Наука. - 2000. 431 с.
7. Могилевский В.Д. Методология систем. – М.: Экономика. - 1999. 251 с.
8. Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. – М.: Товарищество научных изданий КМК. - 2006, 448 с.

### Сведения об авторах

**Махутов Николай Андреевич**, д.т.н., главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, тел. (499) 135 7771; e-mail: safety@imash.ru. Адрес: 101990, г. Москва, ул. Бардина, д. 4.

**Ахметханов Расим Султанович**, заведующий лабораторией Института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, тел. (495) 623 5755; e-mail: mibsts@mail.ru. Адрес: 101990, г. Москва, М. Харитоньевский пер., д. 4.

УДК 656.7.01.078.13; 658.012.2.656.7

## РЕСУРСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Кандидат техн. наук **Н.И. Плотников**  
ЗАО Исследовательский проектный центр «АвиаМенеджер»

*Излагается ресурсный метод проектирования информационного пространства сложных объектов, позволяющий осуществлять свертки описания объектов приемлемой четкости на основе сочетания качественных и количественных наблюдений свойств. Структурные элементы объекта рассматриваются как свойства, называемые ресурсами. Основания метода содержат положения качественной теории информации.*

**Ключевые слова:** управление, информация, ресурсы, сложный объект.

## DURABILITY DESIGN OF INFORMATION SPACE OF COMPLEX OBJECTS

Ph. D (Tech) **Nikolai I. Plotnikov**  
Research Project Center “AviaManager”, JSC

*Contains resource information space design method of complex objects that enables the rollout definition acceptable descriptions of objects based on a combination of qualitative and quantitative surveys of properties. Structural elements of the object are treated as properties, called resources. Founding method contain provisions qualitative theory of information.*

**Key words:** management, information resources, complex object.

### Введение

Исследование и проектирование сложных объектов (СО) искусственного происхождения содержит фундаментальные проблемы их описания. Структурирование и установление большого количества элементов, их связей имеет нечеткий и размытый характер. Известным практическим приемом преодоления нечеткости является сжатие или свертка данных, множеств, элементов. Простейшей сверткой данных пользуется каждый человек, отделяя главное от второстепенного любого рассматриваемого предмета, на основе оценки общего свойства или качества. Тем не менее, описание СО

затруднительно качественными методами, требует статистических методов и математических моделей, долговременного наблюдения для установления устойчивых рядов данных по закону больших чисел. Отдельное место в статистических наблюдениях получили так называемые гиперболические распределения (ГР). Их уникальная особенность состоит в возможности свертки данных примерно в пять-десять раз.

В настоящей работе излагается ресурсный метод проектирования информационного пространства объекта, позволяющий осуществлять свертки описания объектов приемлемой четкости на основе сочетания качественных и количественных наблюдений свойств. Структурные элементы объекта рассматриваются как свойства, называемые ресурсами, располагаемыми в ГР. Основания метода содержат положения качественной теории информации (КТИ) [1] и разработки экспертных систем научно-технической информации (ЭС НТИ) [2]. Согласно метода, элементарные сообщения составляют данные, которые только в контакте с экспертом или контуром преобразования ЭС преобразуются в информацию и затем в знания. Поэтому вместо используемого в информатике понятия «документальный информационный поток» (ДИП) мы вводим понятие «поток данных» (ПД). Метод позволяет осуществлять экспертное выделение нескольких свойств, устойчиво наблюдаемых и оцениваемых в числовых величинах. Ниже представлен краткий обзор ГР и необходимые выводы о возможностях мерах свертки данных. Затем показана разработка комплекса информационного пространства сложного объекта.

## 1. РЕСУРСНЫЕ ОСНОВАНИЯ В ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ

Гиперболические распределения обладают приемлемой точностью и практической значимостью. Например, на основе цитационного анализа делаются прогнозы развития научных направлений, присуждения Нобелевских премий. Законы ГР - Ципфа, Парето, Лотки, Уиллиса, Брэдфорда и других, получившие также наименования «негауссовых» распределений, обладают выраженностью асимметрии свойств исследуемого предмета. Данным распределениям подчиняются экономические, социальные, биологические явления, естественные языки и множество других реальностей. Основные количественные особенности негауссовых распределений можно кратко представить в следующем изложении.

### 1.1. Краткий обзор «негауссовых» распределений

В. Парето в 1897 г. устанавливает закон распределения населения по размерам дохода. Дж. Уиллис, 1922 г. вывел распределение биологических родов по численности видов. Гиперболические распределения являются основанием наукометрии, особенно библиометрии документальных информационных потоков (ДИП). На основы библиометрии указывают работы авторов: П. Вальден, 1911 г., Ф. Коул, Н. Ильс, 1917 г., позже П. Отле 1934 г., А. Причард 1969 г. Наукометрию связывают с именами В.В. Налимова и З.М. Мульченко, 1969 г. С вышеуказанными направлениями связывают возникновение новых терминов и дисциплин: анализ медиаинформации «киберметрия», «интернетометрия», когнитивное и математическое моделирование информационных потоков «вебометрия» R.H. Abraham, R.R. Larson, 1996 г. Информетрия впервые указана в работах немецких исследователей L. Blackert, S. Siegel, O. Nacke, 1979 г. Подробнее, в обзоре [4]. Основные количественные особенности негауссовых распределений можно кратко представить в следующем изложении.

Американский математик и страховой аналитик Альфред Д. Лотка в 1926 году вывел закон обратных квадратов, по которому для числа ученых  $n(x)$ , написавших  $x$  статей, получено распределение продуктивности:

$$n(x) = A/x! \quad (1)$$

где  $A$  - число ученых написавших всего одну статью;  $x! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot x$ . Дж. Ципф в 1949 г. установил гиперболический закон распределений слов естественного языка в виде:

$$fr = c \quad (2)$$

где  $f$  – частота встречаемости слова в тексте;  $r$  – ранг слова, порядковый номер в списке;  $c$  – эмпирическая постоянная величина. Позже Б. Мандельброт уточнил закон Ципфа:  $fr = cy$ , где  $y$  – величина, около единицы, изменяющаяся от свойств текста.

Английский химик и библиограф С.К. Брэдфорд (1878-1948) сформулировал закономерность распределения публикаций по изданиям. Если журналы расположить в порядке убывания числа статей по определенному предмету, то первые несколько профильных изданий, называемые зоной ядра, содержат наибольшее количество статей рассматриваемой тематики. Вторая значительная группа статей уходит за пределы профильных журналов в смежные издания. Третья группа статей, названная «периферийной», содержится в разных направлениях науки и наибольшем числе наименований изданий, носит случайный характер. Закон Брэдфорда в развитии Б. Викери имеет вид:

$$T_x : T_{2x} : \dots : T_{nx} = 1 : a : a^2 : \dots : a^n \quad (3)$$

где  $x$  – количество статей в каждой группе;  $a$  - коэффициент рассеяния, постоянная величина для данного предмета и времени;  $T_x, T_{2x}, T_{nx}$  - количество журналов, содержащих  $x, 2x, nx$  статей по данному предмету. Развитие закона Брэдфорда представил Б.К. Брукс, 1969 г. в двух уравнениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{(n)} = an^b (1 \leq n \leq c) \\ R_{(n)} = k \log_b \frac{n}{c} (c \leq n \leq N) \end{array} \right\} \quad (4)$$

где  $R_{(n)}$  - общее количество статей по теме в  $n$  изданиях, проранжированное по убыванию;  $n$  – ранг издания;  $a$  – количество релевантных статей по теме в самом продуктивном издании;  $c$  – число изданий в «ядре»;  $N$  - число изданий;  $b, k, s$  – эмпирические коэффициенты.

Основная сущность формализованных методов анализа ДИП состоит в выделении различных количественных взаимодействующих свойств данных в потоке. Длительность статистических наблюдений является обязательным условием точности гиперболических распределений. В.И. Горькова в 1973 г. показала, что развитие научной дисциплины можно оценивать по приращению:

$$V = dN/Ndt \quad (5)$$

где  $N$  – число публикаций по теме в наблюдаемый период;  $dN$  – прирост за период  $dt$ ;  $V$  - скорость роста, определяемая приращением  $dN/\Delta t$  по отношению к наблюдаемому периоду, установленная за период более пяти лет. Данное условие является главной проблемой, если существует необходимость непосредственного и синхронного оценивания данных. Преодоление данной проблемы достигается представляемым здесь методом.

## 1.2. Задача установления свойств информационных ресурсов

Задача установления свойств информационных ресурсов любого объекта состоит в преобразовании потока данных в информацию и знания, необходимые и достаточные субъекту для принятия решений деятельности. Задача заключается в том,

чтобы установить в потоке данных объекта приемлемое сочетание количественных формальных признаков, пригодных для машинной обработки и эвристических признаков – для качественной оценки экспертом.

### 1.3. Метод

Кратко, в основе метода лежит ранжирование источников ПД, эвристическая оценка и структурирование данных по формальным признакам. Пусть в описании объекта, называемом ресурсным контуром  $R_N$ , классифицировано  $n$  ресурсов  $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n$ , свойство каждого из которых определяется по  $1, 2, \dots, j, \dots, m$  признакам. Свойство  $r$  или величина ресурсного контура  $R_N | p$  рассчитывается как возможностная (вероятностная) мера в области определения  $[0, 1]$ :

$$R_N | p = \sum_{i=1}^n \sigma_{jie} + \sum_{i=1}^n \sigma_{jif} \quad \left\{ \begin{array}{l} n \geq 1 \\ 1 \leq j \leq m \end{array} \right\} \quad (6)$$

где  $\sigma_{jie}$  и  $\sigma_{jif}$  - веса  $j$ -го признака  $i$ -го ресурса, устанавливаемые на эвристической и формальной основе. Выражение (1) является основой излагаемого метода и используется для дальнейшего оценивания и исчисления ресурсов. Выделение формальных и эвристических признаков создает свертку ресурсов и оптимизирует экспертизу оценивания свойства. Преобразование данных на примере ПД позволяет осуществить выявление действительности, скрытой за содержанием печатной работы. Эта информация выявляется эвристическим оцениванием эксперта. В соответствии с законами рассеяния и концентрации доля ядерной части ПД составляет единицы процентов потока. Только эту часть эксперт оценивает непосредственно, что оптимизирует затраты человеческих ресурсов более чем на порядок. Подробное содержание метода изложено в [2].

## 2. КОМПЛЕКС ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

Комплекс преобразования информационных ресурсов (КПИР) разработан в период 1983-1993 гг. и состоит из трех взаимосвязанных контуров: ресурсный контур данных (РКД), ресурсный контур преобразования данных (РКПД), ресурсный контур решений (РКР), рис. 1.

### 2.1. Ресурсный контур данных информационного пространства объекта

Ресурсный контур данных информационного пространства объекта содержит конечное или бесконечное множество данных, выделяемых для его описания. Назначением контура является организация возможных данных среды в оптимальный объем для преобразования и подготовки решений. Контур организован и создается тремя взаимосвязанными потоками данных: а) формализованный поток организованных структурированных данных: источники НТИ; б) формализованный поток неорганизованных слабоструктурированных данных - «серая литература»; с) неформализованный поток неорганизованных неструктурированных данных. Связь данных в этих потоках – предметная, тематическая. Например, исследователь получает данные (а) из научного журнала, (б) из неопубликованных отчетов, (с) из устной беседы. Обозначив создаваемый ресурс РКДС символом  $\bar{D}$  и элементы создающих ресурсов  $d_a, d_b, d_c$ , запишем:

$$D(d_a, d_b, d_c) \rightarrow [\bar{D}] \quad (7)$$

Назначение контура состоит в организации репрезентативного содержания входящих данных, необходимого и достаточного для целей проектирования объекта. Данный контур ресурсов формируется на основании принципа адекватности проектирования.



## 2.2. Ресурсный контур преобразования данных

Назначение ресурсного контура преобразования данных состоит в редукции или свертке данных для принятия решений. Разработана модель для следующих свойств ДПД: полнота, точность, новизна, достоверность, доступность, информативность, старение, ценность. Структурирование указанных ресурсов по формальным и эвристическим признакам показывает их сложную взаимозависимость и корреляцию между собой [2, с. 43]. В соответствии с принципом редукции из данных свойств экспертным путем осуществляется свертка до трех свойств: информативность, новизна, достоверность. Для перевода описаний каждого из свойств в машинные алгоритмы разработаны математические модели.

### 2.2.1. Свойство информативности ресурсов

Выделение релевантных данных, pertinentных запросу, осуществляется на основе свойства данных, которое мы называем информативностью, также называемое фактором воздействия impact factor (if). Информативность определяется по специальной матрице, объединяющей несколько ранговых моделей, используемых для расчета интегрального ранга воздействия каждого из входящих источников ДПД [2]. Интегральный ранг  $q_a$  рассчитывается:

$$Q_a = \sum_{n=1}^N q_{an} \varphi q_n (\overline{1, N}) \quad (8)$$

где  $a$  - порядковый номер ресурса,  $N$  - число ранговых моделей,  $n$  - порядковый номер ранговой модели,  $q_{an}$  - ранг  $a$ -го ресурса в  $n$ -й модели,  $\varphi$  - коэффициент приведения получаемых при расчете иррациональных чисел к целым числам,  $q_n$  - удельный ранг  $n$ -й модели, который рассчитывается следующим образом:

$$q_n = \rho_n / \sum_{i=1}^N \rho_i \quad (9)$$

где  $\rho_n$  - вес  $n$ -й модели, определенный экспертным путем на основании эффективности и трудоемкости метода, соответствующего данной модели. Объединяя (1) и (2), получаем числовое значение информативности:

$$Q_a = \frac{\sum_{n=1}^N q_{an} \varphi \rho_n}{\rho_n / \sum_{i=1}^N \rho_i} \quad (10)$$

### 2.2.2. Достоверность информационных ресурсов

Достоверность определяется [2] как отсутствие искажений в цепях и в кодовых переходах сообщений на основании внутренней и внешней изоморфности (непротиворечивости) структуры свойств сообщений. Признаки свойств делятся на подтверждающие и отрицающие (исключающие, порочащие) достоверность. Достоверность ресурса  $R_N | rlb$  рассчитывается:

$$R_N | rlb = \{0,5 + 0,5(\sum_{i=1}^{n_f} p_{if} + 0,6 \sum_{i=1}^{n_e} p_{ie}) - 0,5 \sum_{i=1}^{n_n} p_{in}\} / \{1 + \sum_{i=1}^{n_n} p_{in}\} \quad (11)$$

где показатели  $n_f$ ,  $n_e$  - число соответственно формальных и эвристических признаков подтверждающих достоверность;  $n_n$  - число признаков отрицающих достоверность;  $p_{if}$ ,  $p_{ie}$ ,  $p_{in}$  - весовые коэффициенты  $i$ -го признака соответствующей группы; 1; 0,5; 0,6 - выравнивающие коэффициенты, определенные экспертным путем.

### 2.2.3. Новизна информационных ресурсов

Новизной ресурса [2] называется совокупность признаков свойств объекта, обладающих: а) признаками нового содержания, устанавливаемого экспертным путем в эвристических процедурах оценивания; б) рангом информативности и пространственно-временными признаками. Пример: новизна научной монографии оценивается субъектом экспертным путем по эвристическим признакам и формально - по дате издания и по физической удаленности (доступности), что составляет затраты ресурсов на поиск книги. Новизна  $R_N|_{new}$  рассчитывается как в общем описании метода (1):

$$R_N|_{new} = \sum_{i=1}^n \psi_{jie} + \sum_{i=1}^n \psi_{jif} \quad (12)$$

где  $\sigma_{jie}$  и  $\sigma_{jif}$  - веса  $j$ -го признака  $i$ -го ресурса, устанавливаемые на эвристической и формальной основе.

## 2.3. Ресурсный контур решений

### 2.3.1. Управление информационными ресурсами

Назначение контура решений – формирование информационного пространства объекта, управление КПИР для целей проектирования ССО, рис. 1. Объектом может быть любой техносферный комплекс, транспортный комплекс, проектирование которого рассматривается в терминах преобразования, трансформирования, реформирования. Главным агентом формирования КПИР и проектирования является реформирующий субъект. Это может быть отдельный эксперт (консультант), экспертная организация профессиональных услуг, научно-исследовательская организация, рис. 1.

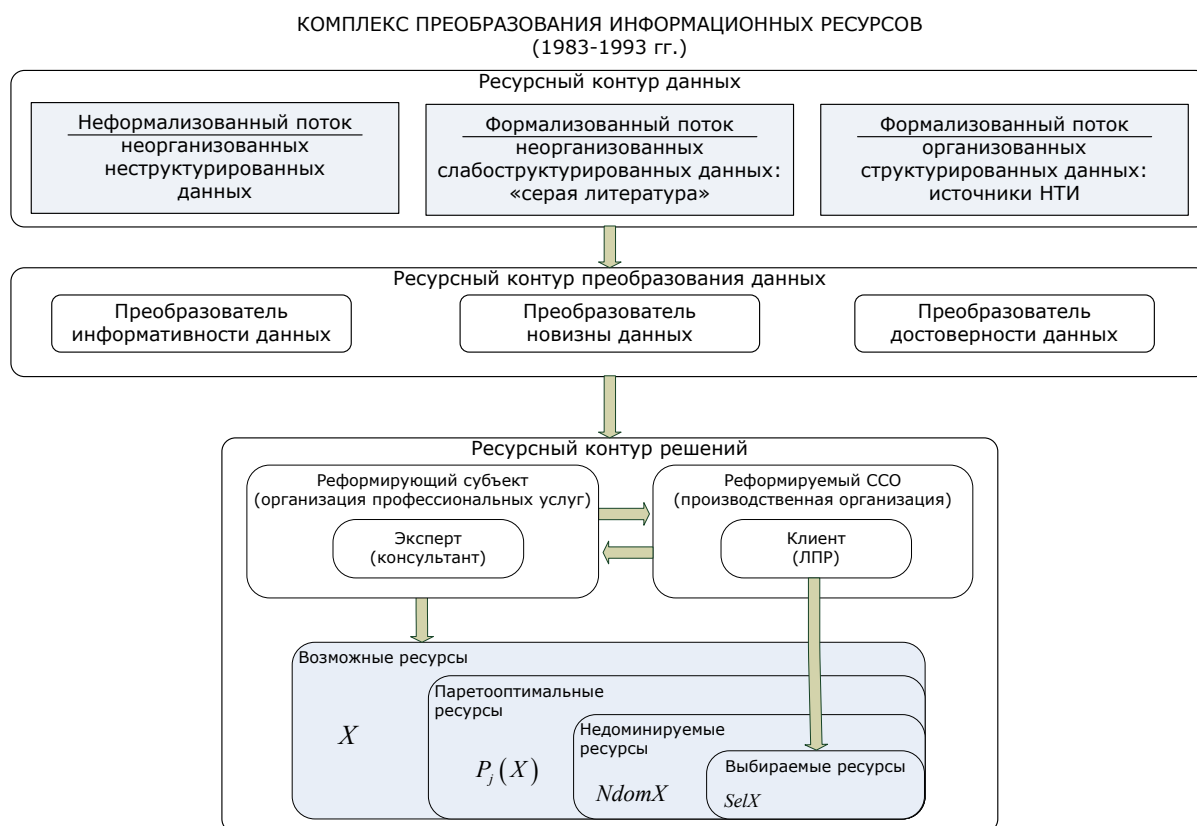


Рис. 1. Комплекс преобразования информационных ресурсов

Все ресурсы рассматриваются как объекты решений. Контур формируется из трех объектов: множество возможных решений  $X$ , векторный критерий и отношение предпочтения эксперта, лица принимающего решение (ЛПР). Множество возможных решений здесь устанавливается как множество, получаемое для экспертизы, из контура преобразования данных РКПД – информация приемлемой полноты, новизны и достоверности. Данное множество содержит минимальное количество решений – два. Число максимальных решений может быть конечным и бесконечным:  $X\{2, \dots, N, \dots, \infty\}$ . Множество  $X$  может иметь любую произвольную природу свойств объекта – числовую и нечисловую, количественную и качественную. Для формирования математической модели используем теорию многокритериального выбора (ТМВ) и описание метода последовательного сужения множества Парето [3, с. 124].

### 2.3.2. Формализация

Структурирование всего пространства ресурсов состоит из последовательных шагов: а) выделение множества -  $X$ ; б) выделение подмножества паретооптимальных ресурсов –  $P_j(X)$ ; в) подмножества недоминируемых пространства ресурсов -  $NdomX$ ; д) выбираемые ресурсы -  $SelX$ . Множество  $X$  формируется на первом, называемом нами, этапе слабой формализации признаков, признаваемых экспертами пригодными для описания свойств объекта. Затем следует установление критериев  $f(x)$  и наиболее трудный выбор – отношение предпочтения  $\succ x$ . Редукция ресурсов состоит в сведении решений экспертным путем из  $X$  к подмножеству выбираемых решений:

$$Sel\ x \subset X, \text{ при } X \geq 1 \quad (13)$$

Второй объект контура - векторный критерий (ВК) есть числовая функция, показывающая состояние наблюдаемого свойства, иначе называемые критериями оптимальности, эффективности, целевыми показателями, критериями или показателями качества. Третий ресурс – отношение предпочтения ( $\succ x$ ) является также элементом эвристической экспертизы предпочтений эксперта (ЛПР). В соответствии с ТМВ [3] ресурсным решением будем называть выбор окончательного варианта решения как формы, содержания, действия, являющегося оптимальным для целей проектирования сложного объекта:

$$PKP: \langle X, Selx, \succ x \rangle \quad (14)$$

Задача формулируется следующим образом: множество ресурсов  $X$  состоит из конкурирующих подмножеств критериев  $f_1, f_2, \dots, f_m$ , которые образуют векторный критерий:

$$f = f_1, f_2, \dots, f_m, \quad m \geq 2 \quad (15)$$

принимая значения в пространстве  $m$ -мерных векторов  $R^m$ . Это пространство называют критериальным пространством или пространством оценок. Любое значение:

$$f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\} \in R^m \quad (16)$$

векторного критерия  $f$  при определении  $x \in X$  называют векторной оценкой возможного решения  $x$ . Все возможные векторные оценки составляют множество возможных векторов ресурсов:

$$Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x)\} \text{ при некотором } x \in X \quad (17)$$

Дальнейшую свертку ресурсов рассматривают как подмножество критериального пространства  $R^m$ :

$$SelY = f(SelX) = \{y \in R^m \mid y = f(x)\} \text{ при некотором } x \in SelX \quad (18)$$

## 2.4. Эксперимент

Теоретическое описание методики формировалось автором одновременно с экспериментальной работой с середины 1980-х годов на ДПД по нескольким направлениям, главными из которых были фундаментальные зарубежные исследования и прикладные НИР в областях: лазерная физика и оптика (1984-1987); аэрокосмическая индустрия и воздушный транспорт (1986-1998); экономика, менеджмент, консалтинг (1992-2007). Результаты экспериментальных разработок опубликованы в более чем в 20 работах, ссылки на которые имеются [4-5].

Таблица 1

### Ресурсное проектирование информационного пространства

| Вид свертки ресурсов | Обозначение    | Назначение                                        | Результаты                                                               |
|----------------------|----------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Информативность      | $Q_a$          | Выделение ядра источников данных.                 | Менее пяти процентов источников определяют около 90% релевантных данных. |
| Достоверность        | $R_N \mid rlb$ | Исключение шумовых данных и искажения сообщений.  | Формализованный алгоритм определения достоверности информации.           |
| Новизна              | $R_N \mid new$ | Установление различий для создания нового знания. | Формализованный алгоритм определения новизны информации.                 |

Число источников по тематике воздушного транспорта, которую отслеживал и перерабатывал автор данной работы, составляла 232 издания на русском и трех иностранных языках. Ядерная часть составляла около 15-20 источников, что соответствовало ресурсной возможности субъекта и целесообразности исследования [5].

## Заключение

В настоящей работе изложены результаты исследований и экспериментальных разработок общего научного направления под наименованием «ресурсная методология исследования и проектирования сложных объектов». На примере преобразования информационных ресурсов показана возможность формализованного и эвристического описания объектов искусственной природы – техносферных, производственных, организационных, транспортных и других. Установлено и экспериментально подтверждено, что существуют методы свертки данных, которые позволяют преодолеть фундаментальную проблему описания сложных объектов. Для разработки алгоритмов свойств данных используются простые аддитивные линейные функции, дающие хорошие результаты в практике их применения в течение многих лет. Полагаем, что возможны применения иных моделей мультипликативной или более сложной природы. Это требует дальнейших теоретических изысканий и экспериментальных проверок.

## Литература

1. Мазур М. Качественная теория информации. – М.: Мир. - 1974. – 239 с.
2. Плотников Н.И. Информационная разведка: как из открытых источников создается закрытая информация. – Новосибирск: ОИИГМ СО РАН, 1998. - 131с.

3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: ФИЗМАТЛИТ. - 2002. – 144 с.
4. Плотников Н.И. Системный анализ зарубежного тематического потока НТИ. - автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – М.: ВИМИ. - 1993. – 15 с.
5. Плотников Н.И. Проектирование экспертной системы научно-технической информации по зарубежному воздушному транспорту. – М.: ЦНТИ ГА, 1991. – 27 с.
6. Редькина Н.С. Формализованные методы анализа документальных информационных потоков // Библиосфера. – 2005. - № 2. – с. 51-59.

### Сведения об авторе

**Плотников Николай Иванович**, 1946 г.р., окончил Академию гражданской авиации, 1973, инженер-пилот. С 1990 года - Генеральный директор ЗАО Исследовательский проектный центр «АвиаМенеджер», Новосибирск РФ. Кандидат технических наук, автор более 100 научных работ, шести книг. Область научных интересов: теория информации, теория ресурсов, теория сложных объектов, воздушный транспорт, консалтинг. тел/факс: +7 (383) 351-80-65; моб: +7-913-739-6668; E-mail: [\\_am@aviam.org](mailto:_am@aviam.org)

УДК: 681.586.5; 681.518.3

## АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗОВ НА КРАСНОЯРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Доктор техн. наук, профессор **М.Н. Петров**

Сибирский государственный аэрокосмический университет

Кандидат техн. наук **А.И. Орленко, О.А.Терегулов, Э.В.Лукьянов**

Красноярский институт железнодорожного транспорта

*В работе рассмотрен вопрос анализа безотказной работы электровозов по результатам статистических наблюдений.*

**Ключевые слова:** безотказная работа, электровоз, надёжность, отказы, повреждения.

## THE ANALYSIS OF PROBABILITY OF NO-FAILURE OPERATION OF ELECTRIC LOCOMOTIVES ON KRASNOYARSK RAILWAY

Dr. (Tech.) **M.N.Petrov**

The siberian state space university

Ph.D. (Tech.) **A.I. Orlenko, O.A.Teregulov, E.V.Lukyanov**

Krasnoyarsk Institute of the Railway Transportation

*In work the question of the analysis of no-failure operation of electric locomotives by results of statistical supervision is considered.*

**Key words:** no-failure operation, electric locomotive, reliability, refusals, damages.

В работе рассмотрены результаты статистических наблюдений за повреждениями электровозов на примере Красноярской дороги.

На основании реальных статистических данных за период 2008 -2010 года получены средние значения параметра отказов всех основных узлов и оборудования электровозов.

Вероятность безотказной работы узлов ВИП-СР-ТЭД электровозов определяется по формуле

$$P_{\Sigma} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3, \quad (1)$$

где  $P_1$  - ВБР тяговых электрических машин;

$P_2$  - ВБР сглаживающих реакторов;

$P_3$  - ВБР выпрямительно-инверторных преобразователей;

Вероятность безотказной работы электровозов ( $P(L)$ - электровозов) за 2008 и 2010 годы рассчитаны и приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Вероятность безотказной работы электровозов за период с 2008 по 2010 годы на Красноярской дороге**

| Вид оборудования                          | Вероятность безотказной работы |        |        |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|
|                                           | 2008 г                         | 2009 г | 2010 г |
| Тяговые электрические машины              | 0,8747                         | 0,8849 | 0,8456 |
| Сглаживающие реакторы                     | 0,9908                         | 0,9919 | 0,9870 |
| Выпрямительно-инверторные преобразователи | 0,8509                         | 0,8634 | 0,8555 |
| $P(L)$ электровозов                       | 0,7374                         | 0,7578 | 0,7140 |

Отказы узлов и оборудования электровоза по отдельным составляющим представлены в виде гистограмм на рис. 1- 9, что позволяет наглядно определить значения величин.

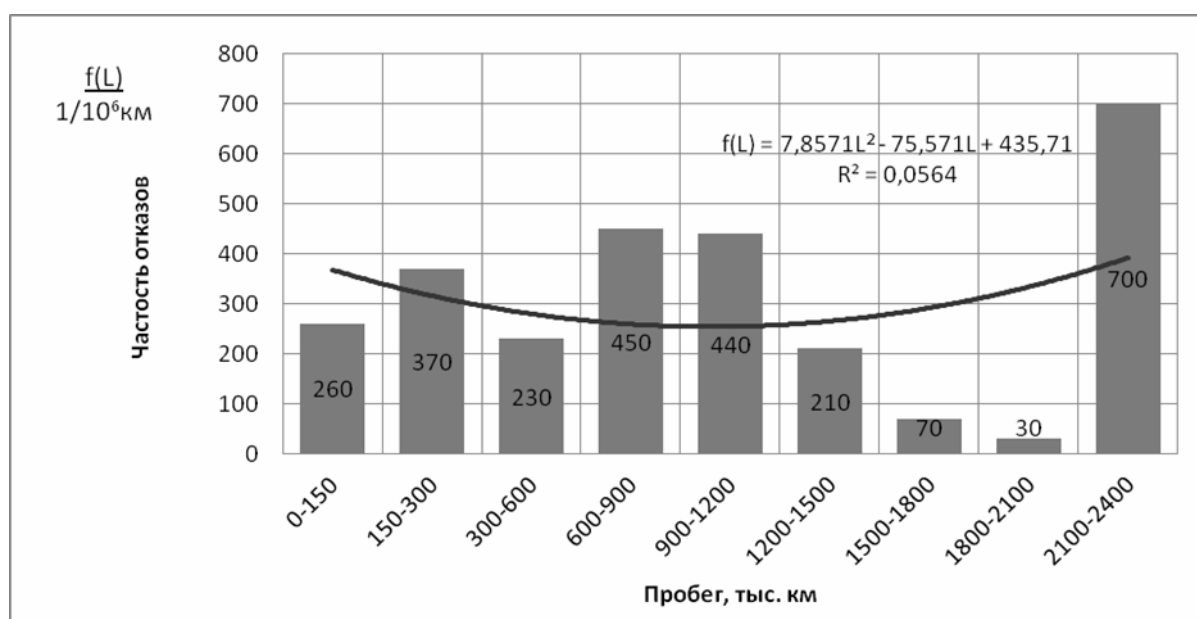


Рис. 1. - Гистограмма вариационного ряда наработки тяговых электрических машин на отказ за 2008 год

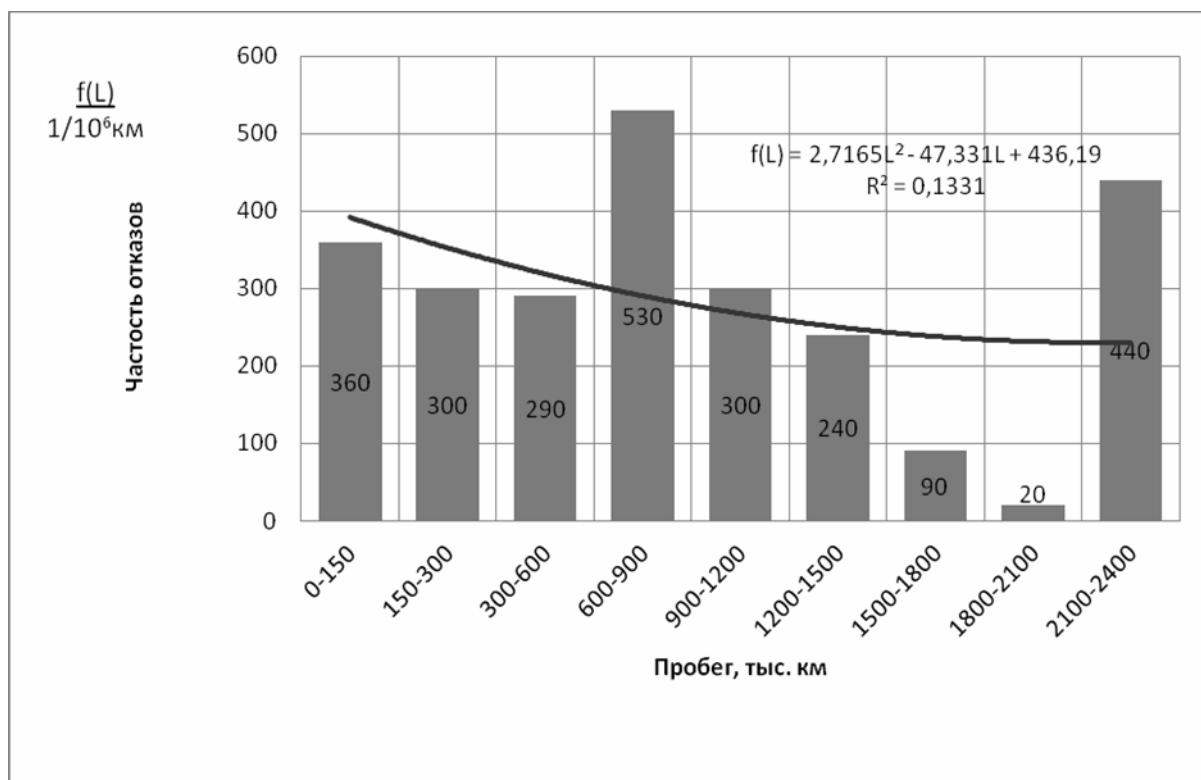


Рис. 2 - Гистограмма вариационного ряда наработки тяговых электрических машин на отказ за 2009 год

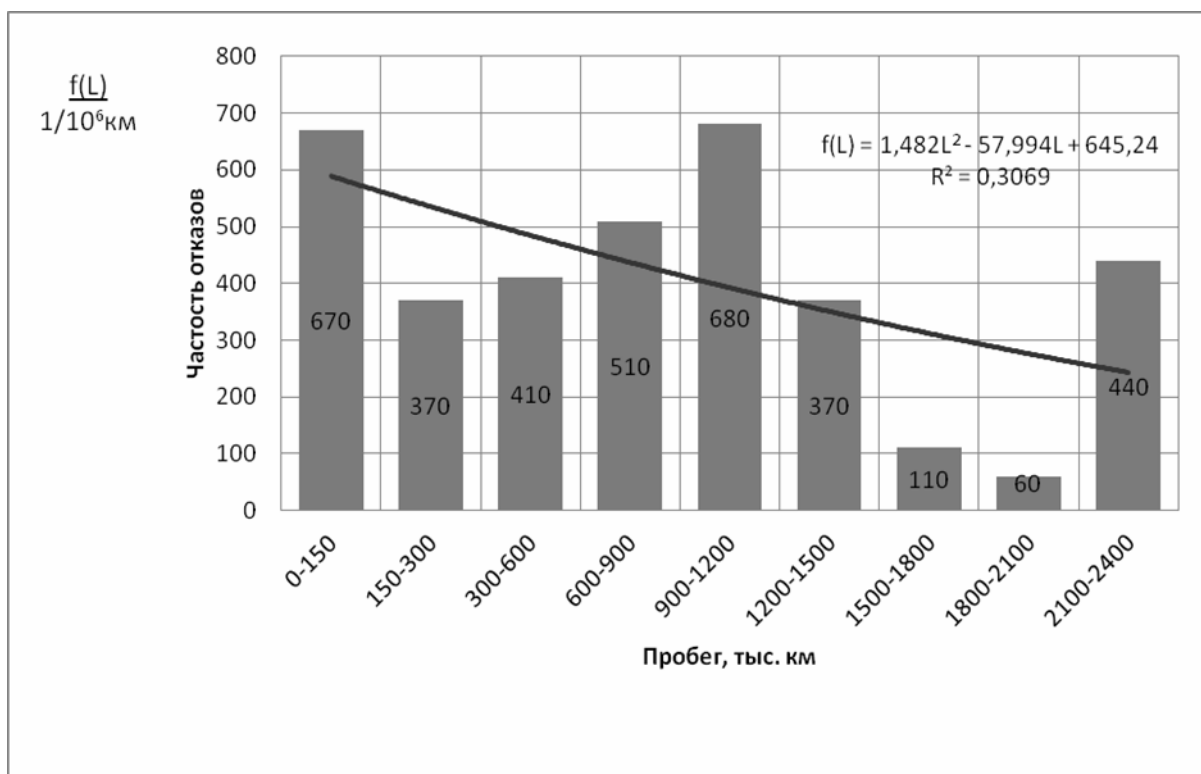


Рис. 3 - Гистограмма вариационного ряда наработки тяговых электрических машин на отказ за 2010 год

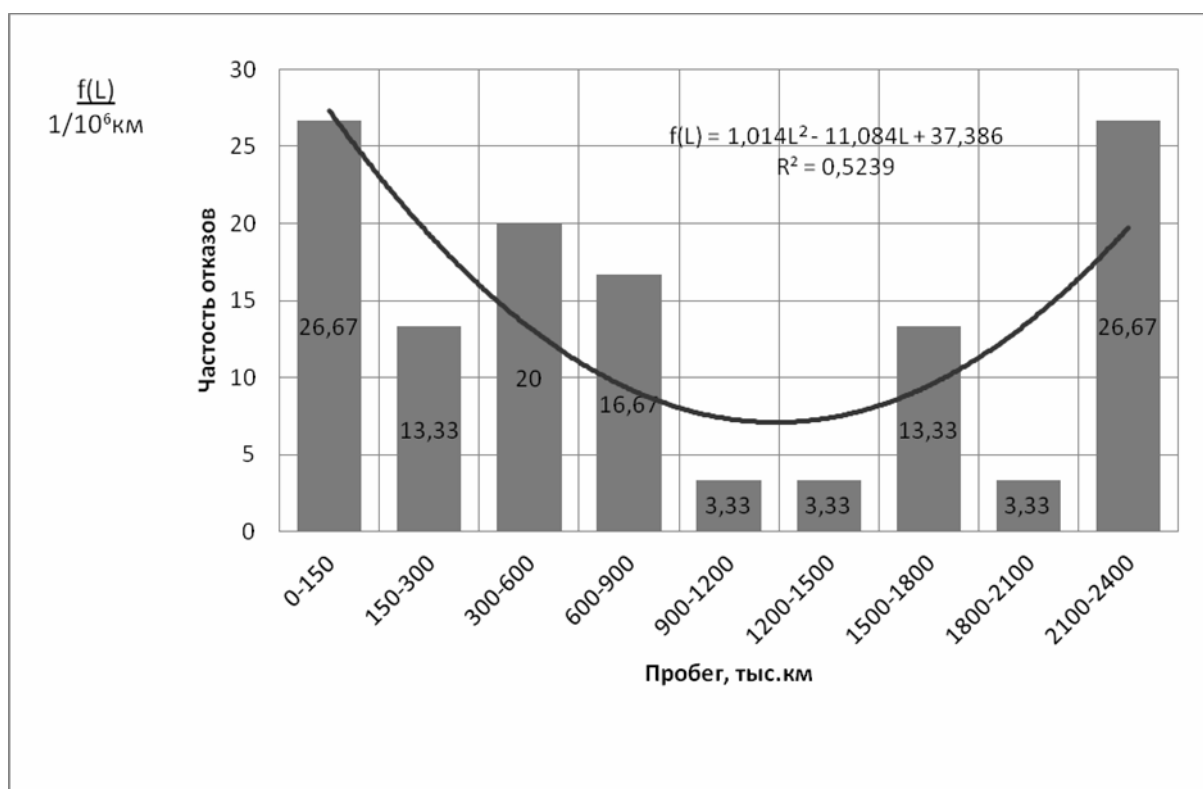


Рис. 4 - Гистограмма вариационного ряда наработки сглаживающих реакторов на отказ за 2008 год

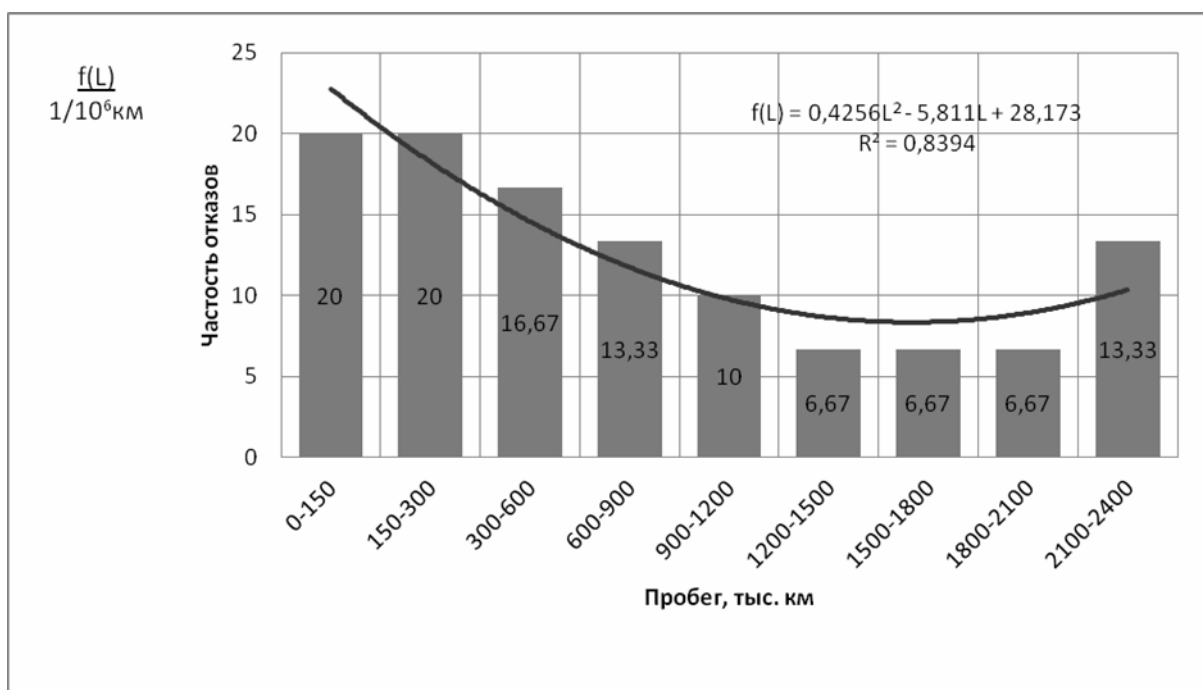


Рис. 5 - Гистограмма вариационного ряда наработки сглаживающих реакторов на отказ за 2009 год



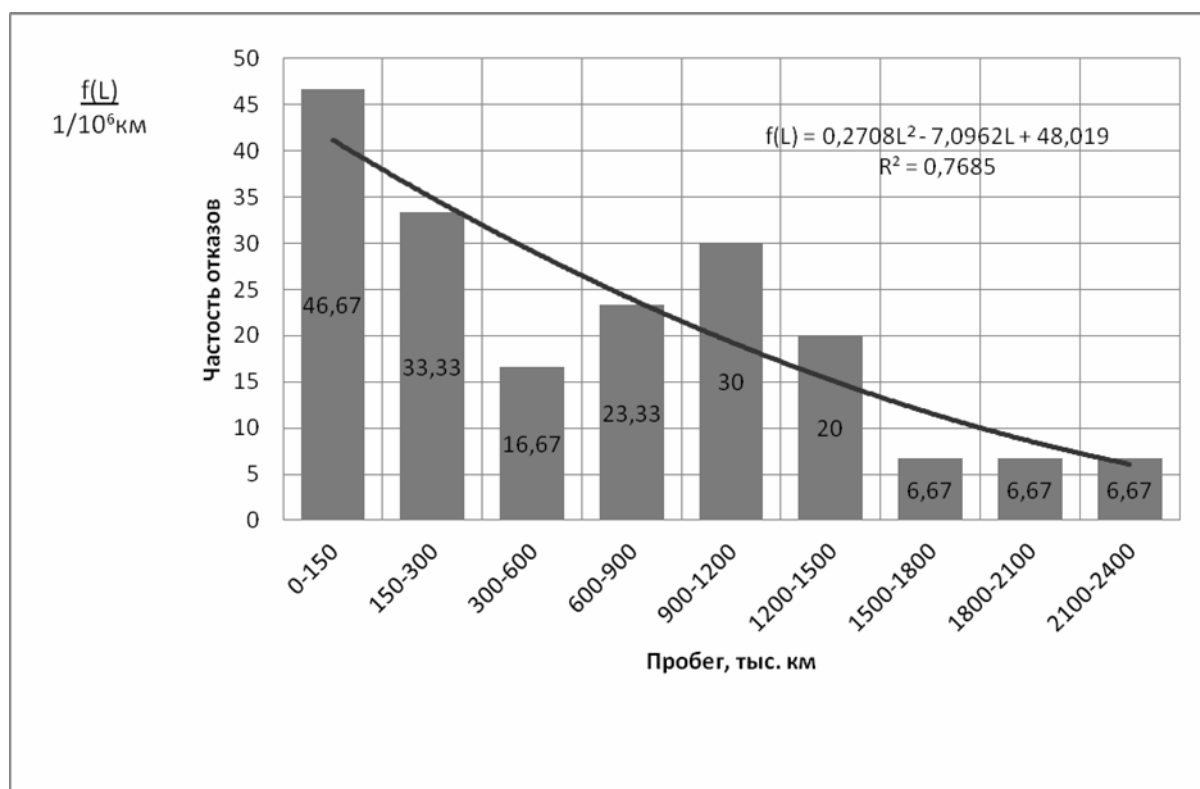


Рис. 6 - Гистограмма вариационного ряда наработки сглаживающих реакторов на отказ за 2010 год

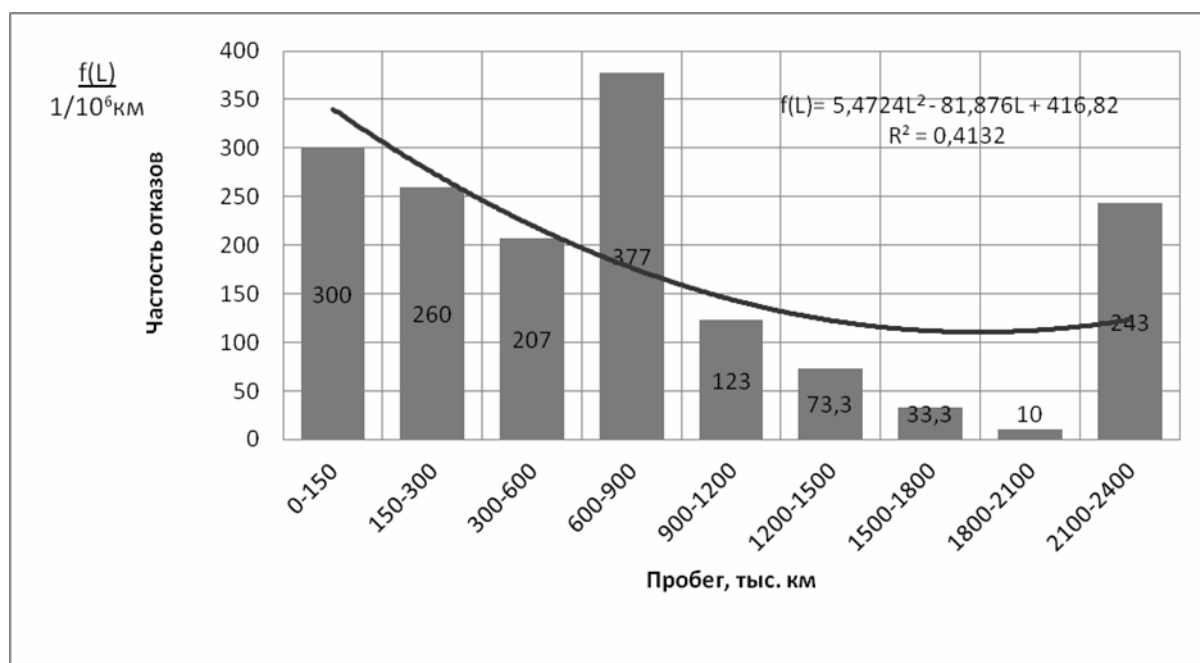


Рис. 7. - Гистограмма вариационного ряда наработки выпрямительно-инверторных преобразователей на отказ за 2008 год

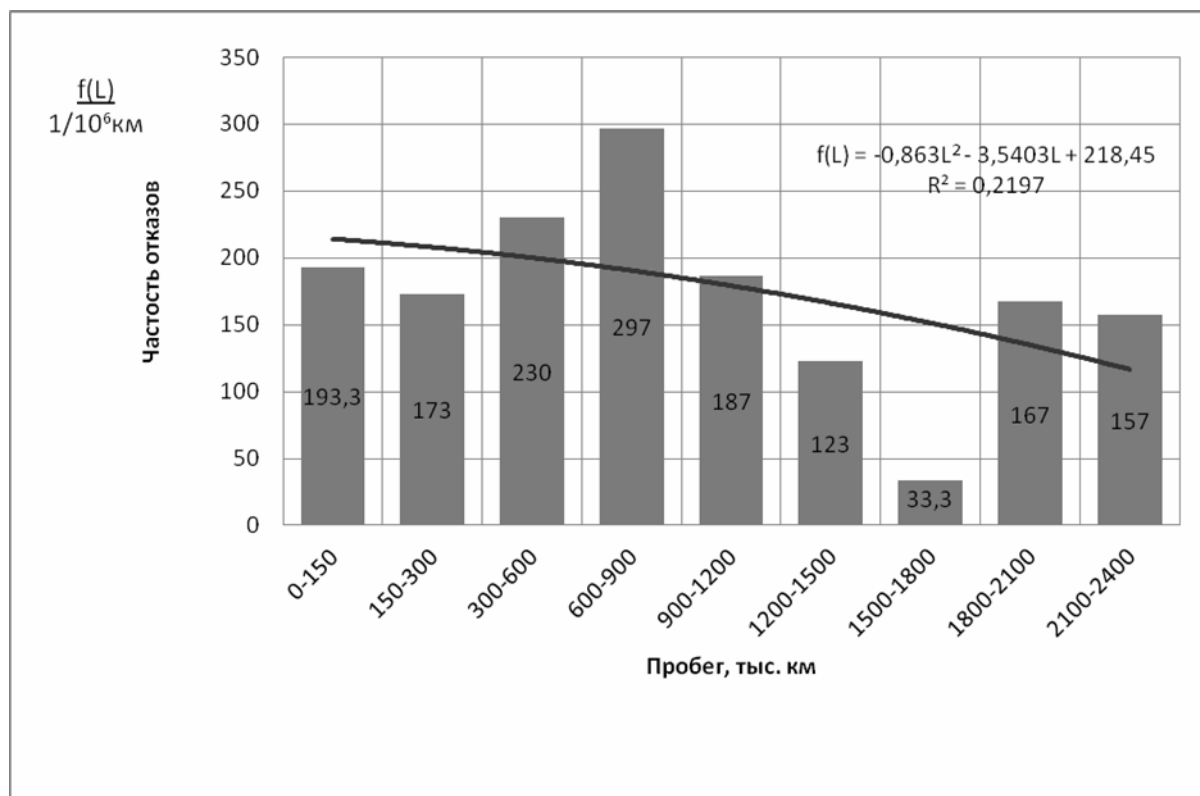


Рис. 8 - Гистограмма вариационного ряда наработки выпрямительно-инверторных преобразователей на отказ за 2009 год

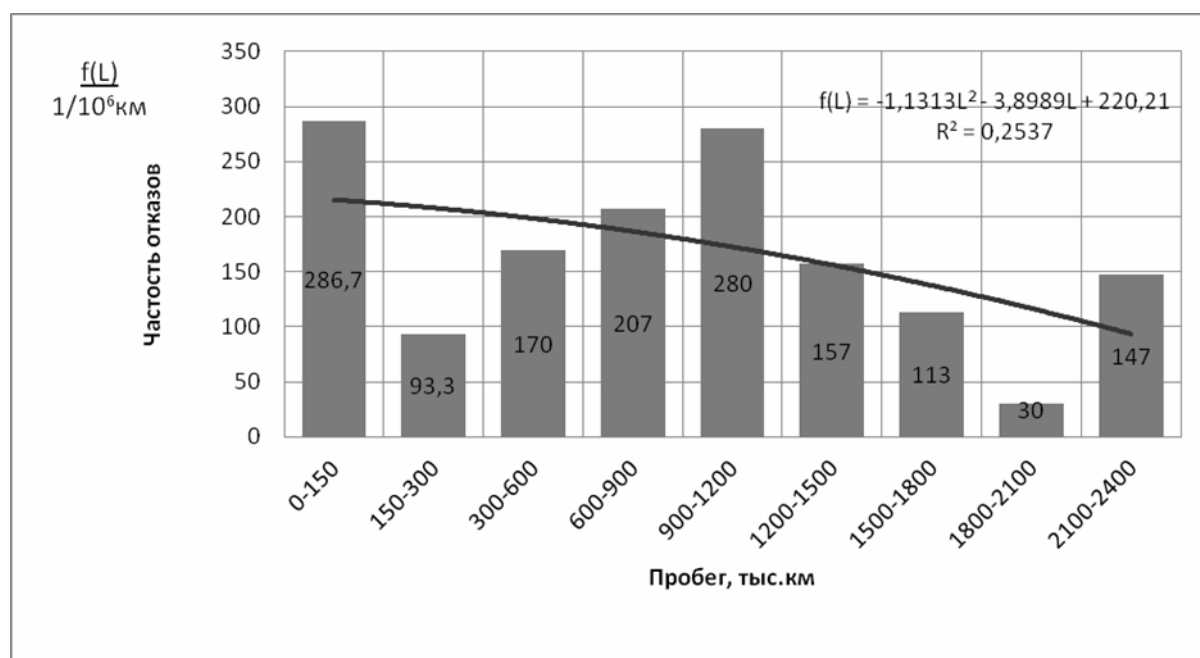


Рис. 9 - Гистограмма вариационного ряда наработки выпрямительно-инверторных преобразователей на отказ за 2010 год

Выводы:

1. Полученные результаты позволяют выявить законы распределения отказов отдельных узлов и оборудования.
2. Распределение отказов необходимо учитывать при планировании и проведении профилактических работ электровозов.

Литература

1. Данковчев В.Г. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов / Учебник для вузов ж.-д. транспорта, Москва. - 2007 г. 558 стр.

Сведения об авторах

**Петров Михаил Николаевич** - профессор каф. «Электронной техники и телекоммуникаций» Сибирского государственного аэрокосмического университета, академик РАЕ, тел. 2289(391-2) дом. 44-58-10, сот. 93-20-70, E-mail: mnp\_kafaes@mail.ru

**Орленко Алексей Иванович** - зам. директора по научной работе Красноярского института железнодорожного транспорта

**Терегулов Олег Александрович** - аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта

**Лукьянов Эдуард Владимирович** - аспирант Красноярского института железнодорожного транспорта

УДК 62-752

**ВИБРОМЕТОДЫ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ**

**Доктор техн. наук., профессор И.Ф. Гончаревич,  
доктор техн. наук., профессор Э.Г. Гудушаури**

**Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН**

*Рассматривается развитие применения вибротехники в нанотехнологиях, а также комплекс проблем, связанных с защитой человека-оператора и окружающей среды от вредных вибрационных воздействий.*

**Ключевые слова:** вибротехника, вибрационные воздействия, защита.

**VIBRATION METHODS IN NANOTECHNOLOGIES**

**Dr. (Tech), professor I.F.Goncharevich, Dr. (Tech), professor E.G.Goudoushauri  
Institute of Machine Sciences RAS**

*The paper dwells upon acute topic of a development and a wide application of vibration engineering in nanotechnologies, as well as it touches upon the problems connected with protection of both a man-operator and environment against harmful vibrational impacts.*

**Key words:** vibration engineering, vibrational impacts, protection.

Сбалансированный подход к проблеме вибротехники в нанотехнологии, наряду с созданием высокоэффективного оборудования, предусматривает решение проблемы защиты персонала, обслуживающего это оборудование. Этот вопрос номер один, так как без его удовлетворительного решения не может быть обеспечено широкое внедрение вибротехники в нанотехнологиях.

Сегодня решение комплекса проблем, связанных с развитием вибрационных технологий формулируется так – есть технологический процесс, который нужно реализовать с наибольшей эффективностью методами вибротехнологии, включая и вопросы защиты человека-оператора от вредных вибрационных воздействий.

Решения сводится к определению эффективных параметров режима колебаний рабочего органа вибрационной машины и, исходя из них, выбору наиболее подходящей структурной схемы вибрационной машины, позволяющей реализовать технологические требования и, одновременно, предотвратить или, по крайней мере, максимально сократить излучение вредной вибрации в окружающее пространство.

Таким образом, ставится комплексная оптимизационная задача – получить высший технологический эффект в пределах допустимых излучений вибрации в окружающую среду. Рассмотрим существующие подходы подбора технологических режимов колебаний рабочего органа вибромашины с ограниченным излучением колебаний в окружающее пространство.

Использование самостоятельно периодических воздействий, в которых заложен ряд полезных в технологии физических эффектов, проявляющихся при высокочастотных режимах обработки, или комбинировано с традиционными методами, позволяет в ряде случаев получить высокие производственные результаты. Периодические составляющие рабочих воздействий способствуют снижению сил сухого и вязкого трения, предела пластического деформирования, ускорению протекания физико-химических и химических реакций, разрушению структуры и тиксотропному разжижению дисперсных структурированных систем, интенсификации массо- и теплообменных процессов и т.д. Реализация указанных эффектов, при ограничении неблагоприятного воздействия вибрации на окружающую среду, обеспечивается только при правильном функционировании всего комплекса (машина-нагрузка). Это достигается при использовании компьютерных методов оптимизации технологических режимов и процессов воздействия вибрации на окружающую среду, опирающихся на базовые феноменологические модели обрабатываемых сред и комплекс схем виброизоляции вибрационного оборудования.

Надежность компьютерных методов расчета обуславливается подтвержденной практикой, физической достоверностью и достаточной точностью воспроизведения феноменологическими моделями нестационарной реологии основных параметров технологических процессов, осуществляемых с наложением периодических воздействий и физической прозрачностью описания исследуемого комплекса, гарантирующих их оправданное применение при проектировании многих технологий и выборе параметров осуществляющего их оборудования.

Вибрационным технологиям сопутствуют и специфические колебания – звуковые. Звуком называются любые механические колебания твердой, жидкой или газообразной среды в диапазоне частот, воспринимаемых человеческим ухом, т.е. при частотах от 16-20 Гц до 16 кГц. Колебания с частотой ниже 20 Гц называют инфразвуком, выше 16 кГц – ультразвуком. Инфра- и ультразвук человеческое ухо не воспринимает.

Частоты колебаний, используемых в технологических машинах, обычно находятся в диапазоне от 10 до 50 Гц, реже до 100 Гц. Эти колебания на слух в основном не воспринимаются, за исключением узкой области самых низкочастотных (воспринимаемых как дребезжание элементов конструкции технологической машины). Ударные и виброударные машины и механизированный инструмент генерируют дополнительно с основной

частотой и целый спектр высокочастотных колебаний. В производстве колебания инфразвуковой частоты излучаются при ведении многих технологических процессов.

Применение виброметодов в нанотехнологиях должно сопровождаться решением вопросов защиты обслуживающего персонала от вредных воздействий вибрации. В связи с этим рассмотрим основные методы защиты обслуживающего персонала от вибрации.

Данный комплекс вопросов связан с защитой несущих конструкций зданий и привода самой вибромашины от динамических нагрузок, а также с защитой рабочего места оператора от вибрации и шума. Актуальность защиты обслуживающего персонала от вибрации и шума, создаваемых вибрационными машинами, непрерывно возрастает, так как с каждым годом вибрационные машины охватывают все более широкие области технологии и, соответственно, расширяется объем их применения в промышленности.

Защита персонала, обслуживающего вибромашины, от вибрации и шума представляет собой совершенно особую задачу. В машинах (обычного) невибрационного принципа действия, вибрация и шум возникают вследствие конструктивных несовершенств или возбуждения внешними нагрузками, они являются чисто паразитными факторами и могут быть уменьшены стандартными методами до допустимых норм или вообще устранены. В машинах вибрационного типа вибрация рабочих органов является основным фактором осуществления рабочего процесса, параметры ее задаются требованиями оптимального ведения технологического процесса, и конечно, не может быть и речи, чтобы эти колебания как-то задемпфировать или уменьшить.

Таким образом, к вибрационным машинам по технологии и технике безопасности предъявляются противоречивые требования. По условиям эффективного ведения технологического процесса необходимо интенсифицировать колебания рабочих органов вибромашин. С точки зрения снижения вредных вибрационных воздействий и шума на обслуживающий персонал следует уменьшать колебания. Снижение шума и вибрации, создаваемых вибрационными машинами, представляет собой типичную оптимизационную задачу с противоречивыми требованиями. Задача является также многокритериальной, так как конструктивное совершенство вибрационной машины, ее технологическая эффективность и соответствие требованиям техники безопасности в отношении создаваемых вибрации и шума характеризуются комплексом локальных критериев качества, часть из которых могут быть противоречивыми. Для решения задач создания вибрационных машин, отвечающих требованиям конструктивного совершенства, технологической эффективности, а также вибрационной и шумовой защищенности, может быть использован метод многокритериального оптимального проектирования на основе ЛП<sub>т</sub>-поиска в режиме диалога ЭВМ – проектировщик.

Можно выделить два основных источника вибрации и шума, воздействующих на обслуживающий персонал: во-первых, это колебания рабочих органов, создаваемые приводом вибромашины, и, во-вторых, колебания и шум, обусловленные взаимодействием с рабочей средой. Следует отметить, что в некоторых типах особо мощных вибрационных машин в результате взаимодействия с нагрузкой генерируются интенсивные случайные колебания и излучается значительный шум. Вибрации первого типа носят упорядоченный детерминированный характер, второго – сугубо статический.

Для защиты обслуживающего персонала от первого типа воздействия применяются более-менее установившиеся методы виброзащиты: виброизоляция, уравнивание, применение динамических гасителей колебаний и опирание колебательной системы в неподвижной точке. Для решения задач второго типа лишь в последнее время разработаны методы замыкания рабочих нагрузок непосредственно на обрабатываемой среде, что обеспечивает уравнивание рабочих нагрузок в машине и компенсацию рабочей нагрузки возмущающей силой специального регулируемого привода.

В целях снижения шумообразования синтезируются режимы работы, исключаяющие генерацию шумов в наиболее неблагоприятных для восприятия обслужи-

вающим персоналом диапазонах; снижается уровень циркуляционной энергии; излучающие поверхности по возможности обращаются в сторону обрабатываемой среды, а также применяются общетехнические методы снижения уровня шумообразования, такие, как ужесточение и обребрение вибрирующих конструкций; покрытие звукопоглощающими материалами (резинами, полимерами, мастиками); применение многослойных панелей, кожухов и т.д. Для подготовки формализации задачи к постановке многокритериальной оптимизации проанализируем методы виброзащиты существующего вибрационного горнотранспортного оборудования.

Большинство современных вибрационных машин, особенно быстроходных и тяжелых, изготавливается с виброизоляцией или уравновешенной конструкции. Задачей виброизоляции вибрационных транспортно-технологических машин является снижение уровня динамических нагрузок, передаваемых на опорные конструкции, для увеличения их долговечности, упрощения крепежных приспособлений, уменьшения производительных утечек энергии и снижения создаваемого шума. Цель уравнивания вибрационных машин заключается в устранении динамических воздействий в элементах привода и компенсации действия реакций упругих связей машины, вызывающих динамические нагрузки на опорные конструкции.

Динамические давления в подшипниковых узлах вибрационных машин можно менять при неизменных параметрах режима работы путем соответствующей их настройки. Так, например, нагрузки на подшипники в тяжелых машинах, работающих при незначительных нагрузках, можно снизить на околорезонансных режимах. В отношении передачи динамических нагрузок на фундамент наблюдается обратное явление: чем ближе режим работы машины к резонансному, тем интенсивнее ее воздействие на опорные конструкции вследствие установки упругих связей большой жесткости. При работе на далеко-зарезонансных режимах на опорные конструкции передаются незначительные динамические нагрузки, но могут повышаться давления в кинематических парах привода, так как вибрационные машины зарезонансного типа имеют упругие связи малой жесткости.

Таким образом, благодаря соответствующей настройке вибрационной машины можно производить перераспределение динамических воздействий между подшипниковыми опорами привода и опорными конструкциями. Уравнивание динамических сил, передаваемых на фундамент, необходимо осуществлять только в вибрационных машинах резонансного типа. Зарезонансные вибрационные машины требуют уравнивания динамических сил в кинематических парах. На практике для уменьшения передачи динамических нагрузок на фундамент обычно применяются схемы, включающие как элементы уравнивания, так и виброизоляцию.

## Литература

1. Kiklev A.V., Aizin Yu., Goncharevich I.F., V.L. Danilov V.L. Computer Methods of Estimation of Efficient Process Conditions of The CCM's Casting Mold."

## Сведения об авторах

**Игорь Фомич Гончаревич** - академик-секретарь Российской инженерной академии. 125009, г. Москва, Газетный пер. 9, стр. 4, т. 342-01-80

**Элгуджа Георгиевич Гудушаури** - главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН (ИМАШ РАН) 101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., д 4, т. (495) 623-50-97

УДК: 504.06

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОНИМАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩИХ УГРОЗ И РИСКОВ

Кандидат эконом. наук, доцент *С.П. Киселева*  
ГОУ ВПО Государственный университет управления (ГУУ)

*Рассматривается экологическая безопасность в структуре национальной безопасности. Представлены результаты терминологического анализа понятия «экологическая безопасность». Обозначены основные подходы к пониманию экологической безопасности. Предложено авторское определение понятия «экологическая безопасность». Предложен авторский подход к пониманию экологической безопасности системы с позиции безопасности ее взаимодействия с окружающей средой. Предлагаемый подход предназначен для разработки мероприятий по предотвращению и ликвидации экологических последствий ЧС различного происхождения.*

**Ключевые слова:** безопасность, окружающая среда, охрана окружающей среды, система, ЧС, экологическая безопасность, экологическая политика, экологические последствия, экологические проблемы, экологическая опасность, экологический риск, экологическая угроза, экология.

## CONCEPTUAL APPROACH TO UNDERSTANDING OF ECOLOGICAL SAFETY IN THE CONDITIONS OF ACCRUING THREATS AND RISKS

Ph.D. (Econ.) *S.P. Kiseleva*  
STATE UNIVERSITY of MANAGEMENT, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

*In article ecological safety in structure of national security is considered. Results of the terminological analysis of concept «ecological safety» are presented. The main approaches to understanding of ecological safety are designated. Author's definition of concept «ecological safety» is offered. The author's approach to understanding of ecological safety of system from a position of safety of its interaction with environment is offered. The offered approach is intended for development of actions for prevention and elimination of ecological consequences of emergency situations of a various origin.*

**Key words:** safety, environment, environmental protection, system, emergency, ecological safety, ecological policy, ecological consequences, environmental problems, ecological danger, ecological risk, ecological threat, ecology.

Глобальная экологическая ситуация характеризуется продолжающимся развитием экологического кризиса, несмотря на принятые за последние десятилетия усилия по реализации целого ряда международных и национальных программ, направленных на охрану окружающей среды и формирование природоохранного законодательства, разработку ресурсосберегающих технологий и т.д. В жизни современного человека все большее место занимают заботы, связанные с преодолением различных кризисных явлений, возникающих в процессе развития земной цивилизации. Все глобальные тенденции развития экологического кризиса проявляются и в России. Анализ экологической ситуации в Российской Федерации за последние годы свидетельствует о том, что экологическая обстановка на наиболее развитых экономически территориях остается неблагоприятной, уровень загрязнения природной среды и деградации природных ресурсов - высоким. В ряде

регионов из-за высоких антропогенных нагрузок сложилась весьма сложная ситуация, при которой возникают значительные изменения ландшафтов, происходит истощение и утрата природных ресурсов, значительно ухудшаются условия проживания населения. В России, как и во всем мире, в последние годы наблюдается рост числа ЧС природного и техногенного характера. Это обусловлено, прежде всего, прогрессирующей урбанизацией территорий, увеличением плотности населения Земли, и, как следствие, увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Защита природных систем и населения от ЧС природного и техногенного характера сформировалась в последние годы как насущная и объективная потребность общества и государства.[1]

На современном этапе цивилизационного развития экологическая безопасность выступает интегральной формой выражения жизнеспособности и жизнестойкости различных объектов биосферы и ноосферы и рассматривается как необходимый компонент обеспечения национальной безопасности.[2] Экологическая безопасность заняла одно из главных мест в системе национальной безопасности, структура которой включает в себя: государственную безопасность; общественную безопасность; техногенную безопасность; экологическую безопасность и защиту от угроз стихийных бедствий; экономическую безопасность; энергетическую безопасность; информационную безопасность; безопасность личности (см. рис.1).

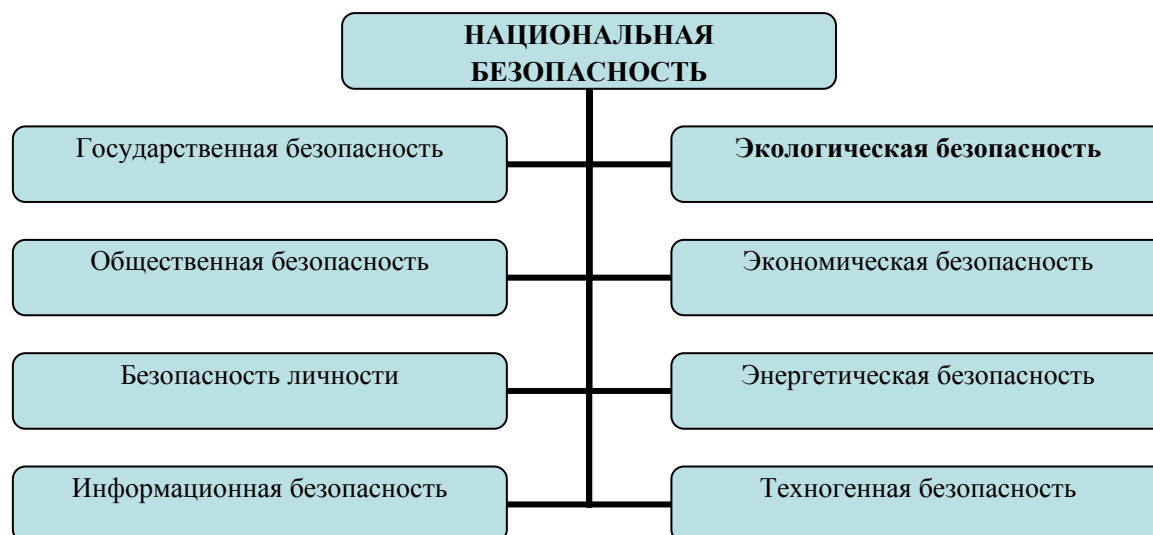


Рис. 1. Место экологической безопасности в структуре национальной безопасности. [3]

Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537, определяет национальную безопасность как состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, которое позволяет обеспечить конституционные права, свободы, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальную целостность и устойчивое развитие Российской Федерации, оборону и безопасность государства. Обеспечение экологической безопасности – стратегический национальный приоритет, представляющий важнейшее направления обеспечения национальной безопасности, по которым реализуются конституционные права и свободы граждан Российской Федерации, осуществляются устойчивое социально-экономическое развитие и охрана суверенитета страны, ее независимости и территориальной целостности.[4] Национальные системы безопасности можно признать эффективными и надежными, если они изначально ориентированы на обеспечение экологической безопасности



с учетом социально-экономических интересов общества и государства. Обеспечение экологической безопасности является сегодня обязательным условием для выживания человечества в условиях нарастающих угроз и рисков XXI века.[5]

В Российской Федерации государственная политика в области экологического развития основывается на Конституции РФ, принципах и нормах международного права, международных договорах РФ, на федеральных конституционных законах, федеральных законах, законах субъектов РФ, документах долгосрочного стратегического планирования, включая Концепцию долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года, утвержденную распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008г. №1662-р. 30 апреля 2012 г. утверждены Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года, обусловленные необходимостью обеспечения экологической безопасности при модернизации экономики и в процессе инновационного развития.[6] Разработанные основы определяют стратегическую цель, основные задачи государства в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности и механизмы их реализации. Согласно утвержденному документу, стратегической целью государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических задач, обеспечивающих экологически ориентированный рост экономики, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов для удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, реализации права каждого человека на благоприятную окружающую среду, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Одной из основных задач государственной политики в области экологического развития является обеспечение экологически ориентированного роста экономики и внедрения экологически эффективных инновационных технологий. Важной задачей здесь предстает обеспечение экологической безопасности развития экономики. [7]

Многогранность и многоплановость проявления экологических проблем обусловили многочисленные дискуссии вокруг термина «экологическая безопасность» в научном, политическом и бизнес - сообществах. Отсутствие единого понимания понятия «экологическая безопасность» породили определенные сложности в разработке и практической реализации методологических и методических подходов к управлению экологической безопасностью в различных отраслях народного хозяйства. Пробелы мировоззренческого осмысления и практического освоения понятия «экологическая безопасность» актуализируют уточнение содержания этого термина для решения практических задач в области экологического управления.

Понятие «экологическая безопасность» появилось во второй половине 20 века. Впервые понятие экологической безопасности было введено в российское законодательство статьей 85 Закона РСФСР «Об охране окружающей среды» от 19.12.1991 г. при формулировании перечня объектов экологических преступлений наряду с экологическим правопорядком, окружающей средой и здоровьем человека. [8] На сегодняшний день категория «экологическая безопасность» закреплена Конституцией РФ (ст.72), Федеральным законом «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ, международными актами, иными нормативно-правовыми актами.[9,10] Понятие «экологическая безопасность» применяется сегодня более чем в тысячи нормативных и правовых актах РФ и международных документах. За последние десятилетия по вопросам экологической безопасности написаны сотни научных трудов, учебников, монографий, диссертаций, где отражены результаты изучения содержания и сущности «экологическая безопасность», международно-правовых аспектов экологической безопасности. В свою очередь, нормативно-правовые документы не содержат четких понятий, свойств и признаков экологической безопасности как объекта права. В действующем российском законодательстве и доктрине

конституционного права отсутствует единое представление о сущности экологической безопасности, ее содержательных характеристиках. Не исследована конституционно-правовая сущность экологической безопасности, институциональные основы ее обеспечения. Активно используются производные понятия такие как «политика экологической безопасности», «система экологической безопасности», «управление экологической безопасностью», «обеспечение экологической безопасности государства» и др. Однако зачастую эти понятия неправильно сформулированы с точки зрения предметной области. Следует признать, что понятие экологической безопасности в настоящее время не имеет прочной терминологической и методологической основы. Определение термина «экологическая безопасность» находится в эволюционной стадии по направлению детализации и конкретизации признаков категории. На сегодняшний день не найдено единого подхода к пониманию категории «экологическая безопасность». Проблема позиционирования понятийной категории «экологическая безопасность» является производной от аналогичной проблемы в сфере определения категории «безопасность». Дополнительные трудности в этой области обусловлены недостаточной проработанностью фундаментальных аспектов экологии, рационального природопользования и управления рисками

Следует выделить следующие *основные подходы* к пониманию экологической безопасности, которые активно используются при решении теоретических и прикладных задач в области экологического управления (см. рис.2):

1. Экологическая безопасность рассматривается как потенциал соответствующих объектов, характеризующий их способность противостоять неблагоприятным внешним воздействиям.

2. Экологическая безопасность определяется как условия, обеспечивающие состояние защищенности соответствующих объектов от угроз различного характера.

3. Экологическая безопасность определяется как состояние защищенности объекта, характеризующее защищенность соответствующих объектов от угроз различного характера.

4. Экологическая безопасность определяется как мера защищенности соответствующих объектов от угроз различного характера.

5. Экологическая безопасность трактуется как система действий, обеспечивающих определенное состояние защищенности определенных объектов.

6. Экологическая безопасность трактуется как императив, на основании которого должна планироваться и реализовываться любая деятельность.

Следует отметить следующие наиболее распространенные неточности в определениях этого термина (понятия):

1. Термин «экологическая безопасность» указывается без объектной принадлежности (как фундаментальная категория), а определение этого термина приводится применительно к объекту (в прикладном аспекте), что методологически неграмотно.

2. Понятие «экологическая безопасность» трактуется как состояние защищенности природной среды, человека и пр. По состоянию защищенности объекта от угроз можно оценить уровень его экологической безопасности, но само состояние защищенности не есть определение экологической безопасности.

3. Понятие «экологическая безопасность» характеризуется сужением предметной сферы экологической безопасности (в частности, вопросы экологической безопасности, зачастую трактуются как вопросы, связанные с охраной окружающей среды, что демонстрирует ограниченные представления о сфере обеспечения экологической безопасности, а, значит, о предметной области экологической безопасности).

4. Понятие «экологическая безопасность» приравнивается по смыслу к понятию «обеспечение экологической безопасности» (в частности, в тех определениях, где экологическая безопасность трактуется как комплекс мер или правил по охране окружающей среды и рациональному природопользованию).

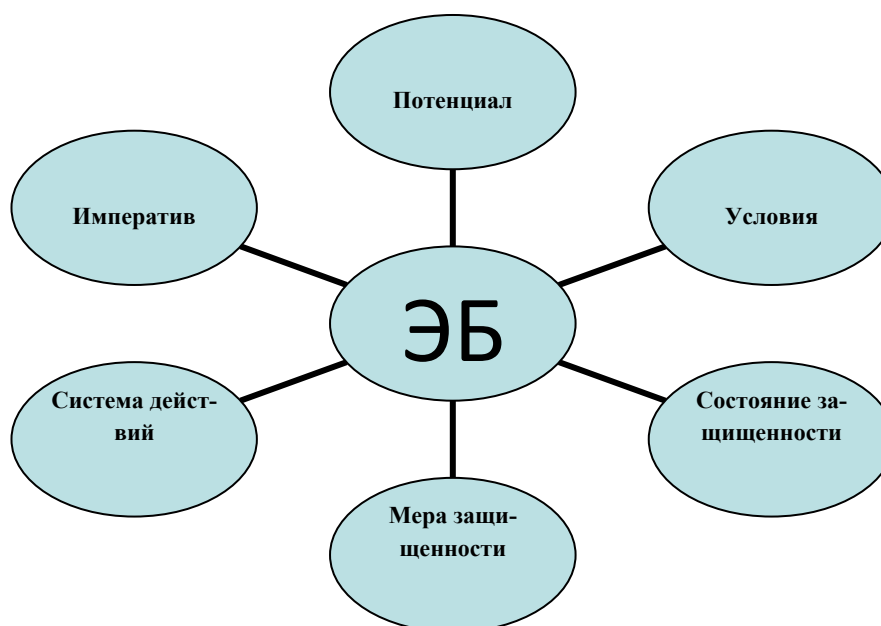


Рис.2. Существующие на сегодняшний день подходы к пониманию категории «экологическая безопасность»

5. Понятие «экологическая безопасность» приравнивается к условиям, ее обеспечивающим, что является неверным, поскольку не позволяет оценить само состояние экологической безопасности.

6. Понятие «экологическая безопасность» определяют как совокупность неких правил, что демонстрирует непонимание истинного значения категории «экологическая безопасность».

7. Понятие «экологическая безопасность» связывают с защищенностью жизненно важных интересов (или прав) человека, структура которых в достаточной мере субъективна и может меняться под воздействием разного рода факторов.

8. Понятие «экологическая безопасность» определяют как защищенность только от антропогенных факторов, не беря в расчет природные и природно-антропогенные факторы, что является грубым упущением.

9. Понятие «экологическая безопасность» связывают с состоянием защищенности лишь природной среды и человека, тогда как техногенная сфера остается вне внимания как объект экологической безопасности. Это является неверным, поскольку природные и техногенные факторы оказывают воздействие как на природные экосистемы и человека, так и на техногенные системы. Игнорирование этого факта при определении предметной области категории «экологическая безопасность» представляет потенциальную угрозу (в т.ч. экологического характера) для окружающей среды.

10. Понятие «экологическая безопасность» связывают с обеспечением качества жизни и безопасности жизнедеятельности, понятийные категории которых являются сами по себе дискуссионными и не могут служить критерием при определении понятия «экологическая безопасность».

11. Понятие «экологическая безопасность» определяют одновременно как комплекс состояний, явлений и действий, обеспечивающий экологический баланс на Земле. Объединение понятий одной принадлежности, но разного содержания и размерности, является терминологически и методологически неграмотным и не может служить основой для определения предметной сферы категории «экологическая безопасность».

12. Понятие «экологическая безопасность» определяют как императив (или принцип) охраны окружающей среды. Такого рода трактование может являться дополнением к определению, но не лежать в его основе, поскольку не имеет ничего общего с раскрытием сущности и содержания понятия «экологическая безопасность».

13. Понятие «экологическая безопасность» отождествляют со стабильностью и устойчивостью системы. Следует отметить, что стабильность и устойчивость не являются гарантами экологической безопасности.

14. Понятие «экологическая безопасность» трактуют как способность сохранения баланса между человеком и природой на территории. Не ясным в этом случае является субъектная принадлежность «способности» и количественные и качественные характеристики баланса.

15. Понятие «экологическая безопасность» определяют, как способность противостоять угрозам по отношению к сохранению жизни и здоровья, благополучию, основным правам человека, источникам жизнеобеспечения, ресурсам, социальному порядку и пр. Непонятным является, почему в данном случае речь ведется именно об экологической безопасности.

16. Понятие «экологическая безопасность» не содержит пространственно-временных границ, что затрудняет его применение в прикладном аспекте в интересах управления экологическими рисками в условиях развития экобиосистем и социально-экономических систем.

Чрезвычайно важным и вместе с тем запутанным представляется задача обозначения **субъектно-объектной принадлежности** понятия «экологическая безопасность» (в прикладном аспекте). Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ст. 1) определяет экологическую безопасность как состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий. Согласно этому закону, природная среда - совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов. Таким образом, согласно законодательному определению экологической безопасности, объектами экологической безопасности следует считать совокупность компонентов природной среды, природные, природно-антропогенные объекты и человека. Но в этом же законе (ст.4) обозначены объекты охраны окружающей среды, в перечень которых включены только компоненты природной среды, природные и природно-антропогенные объекты. В перечень объектов охраны не включен человек (со всем спектром его потребностей, в т.ч. физиологическими потребностями и потребностями в безопасности), что противоречит определению экологической безопасности, указанное в ст. 1 этого закона, поскольку неясным является, как обеспечивать соответствующие интересы человека, если человек не является объектом охраны. Кроме того, в перечень объектов охраны не включены антропогенные (в т.ч. техногенные) объекты, которые необходимо охранять от человека и природных явлений в целях предупреждения природно-техногенных катастроф (техногенных катастроф, источником которых являются природные явления) и социо-техногенных катастроф (техногенных катастроф, произошедших по вине человека). Это подтверждает также определение в законе (ст.1) понятия «благоприятная окружающая среда», которой признается «окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов» – в этом определении нет места антропогенным объектам. Таким образом, данный закон определяет окружающую среду как совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов, но объектами охраны признает лишь часть объектов окружающей среды. Стоит сделать вывод, что содержание закона не полностью оправдывает его название. Вероятно, это стоит воспринимать как недоработку

закона, но, другие определения в законе (ст.1) также демонстрируют сужение предметной сферы экологической безопасности: например, согласно данному закону, экологический риск - вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Согласно этой формулировке, для оценки экологических рисков, стоит принимать во внимание только последствия для природной среды и последствия для человека снова не принимаются в расчет. Это важные упущения в рассматриваемом законодательном поле, которые создают путаницу при изучении субъектно-объектной принадлежности категории «экологическая безопасность» и требуют скорейшей доработки.[9]

Согласно изложенному выше, **объектами экологических угроз** (объектами, экологическая безопасность которых должна быть обеспечена) следует считать: человека, природные, природно-антропогенные, антропогенные системы. Вопрос об источнике «экологических опасностей» является более понятным, но лишь на первый взгляд. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ определяет негативное воздействие на окружающую среду как воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды. Здесь необходимо отметить, что негативное воздействие может быть не только от какой-либо деятельности, но и от явления, процесса и пр., что применимо к природным явлениям и процессам. В определениях понятий «экологический риск» и «экологическая безопасность» (ст.1) указано, что в качестве источников негативного воздействия на окружающую среду выступает хозяйственная и иная деятельность, чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера. Таким образом, в качестве **субъектов экологических угроз** следуют считать (также как и объектами) человека, природные, природно-антропогенные, антропогенные системы.[9]

Важным вопросом является, что и в каких случаях считать объектом экологических угроз, а что субъектом экологических угроз, ведь любая система, как правило, является и субъектом, и объектом экологических угроз одновременно. В случае, если система является объектом определенных экологических угроз, поступающих из внешней среды, а также является источником экологических угроз для других субъектов (оказывает негативное воздействие на других субъектов), то здесь необходимо рассмотрение одной и той же системы, как в роли субъекта, так и в роли объекта. Но такой подход нельзя признать достаточным в случае, когда система является одновременно объектом экологических угроз, поступающих из внешней среды, а также объектом экологических угроз, источником которых является также и сама система (что распространено в жизнедеятельности человека, хозяйственной и иной деятельности, а также имеет место быть в природной среде). ***Любую систему следует рассматривать и как субъект экологических угроз, и как объект экологических угроз, источником которых является окружающая среда, а также сама система.***

Важным моментом в определении теоретических основ экологической безопасности, на взгляд автора, является **идентификация «экологической составляющей» категории «безопасность»**: как отличить состояние экологической безопасности от состояния информационной, энергетической или иной безопасности? С чем нужно связывать понимание «экологичности» безопасности: с соответствующим видом угрозы или ее отсутствием (например, как определено в Экологическом словаре); с определенным характером воздействующих факторов (в частности, как предлагается в Современном экономическом словаре); с соответствующими условиями, которые нужно обеспечить (например, как указано в Экологической доктрине РФ); с определенными последствиями (например, как предлагается в Словаре Яндекс в разделе «Безопасность: теория, парадигма, концепция, культура»); с определенным видом баланса, который необходимо обеспечить (в частности, как указано в Словаре по естественным наукам) и т.д.? Единого мнения на этот счет не существует, о чем свидетельствует наличие разных точек зрения на этот счет в нормативно-правовой, энциклопедической, учебно-методической и науч-

ной литературе. В поиске ответа на поставленный вопрос вначале все-таки здесь стоит обратиться к главному понятию экологической безопасности - аксиоме о потенциальной экологической опасности: любая деятельность потенциально опасна, будучи сопряженной с возможностью воздействия на рассматриваемый объект негативных факторов и связанных с этим потерь. [11] Отталкиваясь от этого положения, следует иметь в виду возможность безопасного состояния системы и опасного (в меньшей или большей мере) состояния, которое обусловлено появлением опасности. Понятие «опасность» следует понимать, прежде всего, как относительное к какому-либо объекту, ведь одно и то же явление может быть опасным для одного объекта и быть абсолютно безопасным для другого объекта. Явление приобретает статус «опасного явления» для определенного объекта, когда явление представляет собой угрозу нарушения привычного состояния объекта в результате взаимодействия (контакта) объекта с этим явлением в заданном объеме пространства и в отчетный период времени. Факт состоявшегося взаимодействия (контакта) и его особенности будут определять признанные в теории рисков [11] силовые, пространственные, временные характеристики опасного явления и объекта, а также толерантность (стойкость) и уязвимость объекта. На взгляд автора, экологическую опасность следует идентифицировать как некое явление, которое представляет угрозу нарушения привычного состояния объекта (как системы) в результате **«экологического взаимодействия (контакта)»** объекта с этим явлением в заданном объеме пространства и в отчетный период времени. Правильность отнесения взаимодействия (контакта) к «экологическому» в каждом конкретном случае можно оценить с позиции классического определения термина «экология», предложенного немецким биологом Эрнстом Геккелем в 1866 (экология - наука об отношениях живых организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой) или других определений в зависимости от приверженности взглядов оценщика. Правильность предлагаемого подхода, по мнению автора, подтверждает очевидная неверность имеющихся представлений, упомянутых выше. По мнению автора, нельзя «экологичность» опасности определять «на входе» (по источнику опасности или по негативным факторам), или «на выходе» (по последствиям) рассматриваемого процесса, или со всех позиций сразу (как определено в ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ). Ошибочность таких подходов состоит в том, что источником происхождения природного характера (к примеру) могут быть кроме экологических факторов политические, экономические и иные факторы, а последствиями происхождения природного характера могут быть кроме экологических последствий, технологические, социальные и иные последствия. Т.е. источники опасности, а также их последствия не должны быть в основе идентификации «экологичности» или «неэкологичности» самой опасности, поскольку она может иметь различные характер и проявления. Таким образом, **«экологическую составляющую» категории «безопасность»** предлагается понимать с позиции **оценки экологического взаимодействия (контакта) между источником опасности и рассматриваемым объектом с точки зрения безопасности этого взаимодействия (контакта) для состояния объекта.** Экологическую безопасность системы (как объекта экологических угроз) предлагается трактовать следующим образом:

**Экологическая безопасность системы** - состояние системы, при котором ее экологическое взаимодействие с окружающей средой не способно вывести ее из состояния равновесия.

Согласно принципу суперпозиции Кюри, в реальное взаимодействие (в рассматриваемом случае, в экологическое взаимодействие) с системой (природной, природно-антропогенной, антропогенной) вступают только те компоненты окружающей среды, которые имеют сходственные элементы симметрии с компонентами системы. Взаимодейст-

вие компонентов системы и окружающей среды, вступающих во взаимодействие и обладающих симметрией, не будет нарушать стационарное состояние равновесия систем (с позиции термодинамики). Если система будет развиваться и реализовываться в несвойственной ей среде, то для взаимодействия дисимметричных (с неполной, нарушенной симметрией) по отношению друг к другу компонентов системы и окружающей среды потребуется дополнительная энергия.[12] Источником требуемой дополнительной энергии может выступить сама система, окружающая среда, а также третья сторона (не участвующая непосредственно во взаимодействии). При этом возможны следующие ситуации:

1. Система и/или окружающая среда, вступающие во взаимодействие, будут нести потери энергии в результате взаимодействия их дисимметричных компонентов.

2. Система и/или окружающая среда, вступающие во взаимодействие, будут затрачивать дополнительную энергию на достижение симметрии их компонентов, вступающих во взаимодействие.

3. Система и/или окружающая среда, вступающие во взаимодействие, будут затрачивать дополнительную энергию на обеспечение связей между их дисимметричными компонентами для их оптимального взаимодействия.

4. Третья сторона будет нести затраты на восстановление (компенсацию) потерянной системой и окружающей средой энергии в результате взаимодействия их дисимметричных компонентов.

5. Третья сторона будет нести затраты, необходимые для достижения симметрии компонентов системы и окружающей среды, вступающих во взаимодействие.

6. Третья сторона будет нести затраты на обеспечение связей между дисимметричными компонентами системы и окружающей среды для их оптимального взаимодействия.

Применительно к отдельной системе (или окружающей среде) аналогично работает принцип внутренней симметрии: в реальное взаимодействие вступают только те компоненты системы (или окружающей среды) которые имеют сходственные элементы внутренней симметрии (при которых не затрагиваются пространственно-временные координаты). Соответственно, система (или окружающая среда) будет нести потери энергии в результате взаимодействия ее дисимметричных компонентов. Также возможна ситуация, когда система (или окружающая среда) будут затрачивать дополнительную энергию на достижение внутренней симметрии ее компонентов, вступающих во взаимодействие. Также возможны будут затраты системы (или окружающей среды) дополнительной энергии на обеспечение связей между ее дисимметричными компонентами для их оптимального взаимодействия. Аналогично будет возможным участие третьей стороны по несению затрат на восстановление (компенсацию) потерянной системой (или окружающей средой) энергии в результате взаимодействия ее дисимметричных компонентов; несения затрат, необходимых для достижения внутренней симметрии компонентов системы (или окружающей среды), вступающих во взаимодействие; по несению затрат на обеспечение связей между дисимметричными компонентами системы (или окружающей среды) для их оптимального взаимодействия.[12]

В общем случае, дисимметрию компонентов, вступающих в экологическое взаимодействие, следует рассматривать как **возмущающий фактор**, приводящий к изменению параметров систем и их состояния. Потери энергии систем в результате экологического взаимодействия их компонентов, обладающих пространственно-временной и внутренней дисимметрией по отношению друг к другу, будут нарушать стационарное состояние равновесия в системах. Пространственно-временная дисимметрия компонентов систем, вступающих в экологическое взаимодействие, будет влиять на величину энтропии, обусловленной экологическим взаимодействием двух систем, (привнесенной). Внутренняя дисимметрия компонентов систем, вступающих в экологическое взаимодействие, будет изменять величину энтропии внутри каждой отдельной системы (внутренней). Общий объем энтропии

(привнесенной и внутренней) в каждой из систем будет изменен, что приведет к изменению состояния системы. Обозначим стационарное состояние равновесия системы (достигнутое за длительный период времени) как  $W_p$ , а неравновесные состояния (удаленные от равновесного) - как множество состояний  $\{W_n\}$ , которые будут реализованы с определенной долей вероятности в заданном объеме пространства и в отчетный период времени. Таким образом, мера дисимметрии компонентов системы и окружающей среды, вступающих в экологическое взаимодействие, ( $D$ ) априори будет определять риск отклонения системы от равновесного состояния  $W_p$  в заданном объеме пространства и отчетном периоде времени (кривые  $R_1, R_2, \dots R_n$ ). Возможные зависимости экологической безопасности системы от дисимметрии ее компонентов, вступающих в экологическое взаимодействие отражены на рис.3.

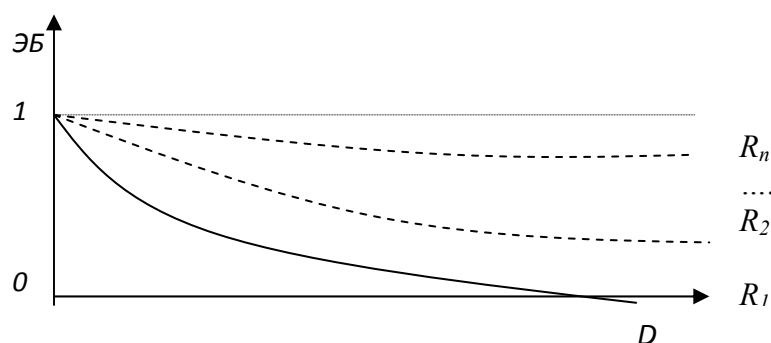


Рис. 3. Возможные зависимости экологической безопасности системы от дисимметрии ее компонентов, вступающих в экологическое взаимодействие

Величина риска  $R$  будет зависеть от:

1. Обеспечения оптимальных термодинамических условий экологического взаимодействия компонентов системы и окружающей среды;
2. Управления экологическим взаимодействием компонентов системы и окружающей среды с целью ненарушения равновесия систем (в т.ч. в части регулирования потерь и компенсации энергии);
3. Эффективности мер по минимизации негативных последствий в результате экологического взаимодействия компонентов системы и окружающей среды по направлению восстановления нарушенного равновесия систем.

В заключении следует отметить, что экологическая безопасность как категория имеет системный характер проявления под воздействием социальных, экономических, технологических, политических и иных факторов внешней среды. Раскрытие и понимание сущности экологической безопасности необходимо для разработки теоретических и методологических основ обеспечения экологической безопасности страны, региона, отдельного человека. Предлагаемый в статье подход предназначен для разработки мероприятий по предотвращению и ликвидации экологических последствий ЧС различного происхождения.

Автор выражает благодарность заслуженному деятелю науки РФ, д.т.н., профессору, заведующему кафедрой «Управление природопользованием и экологической безопасностью» Государственного университета управления Я.Д.Вишнякову за обсуждение статьи.

### Литература

1. Вишняков Я.Д., Киселева С.П. Эколого-ориентированное инновационное развитие национальной экономики: Монография. М.: «ЦНИТИ «Техномаш». - 2009 г. – 290 с.
2. Карабасов Ю.С., Чижикова В.М. Экология и управление: Учебник для вузов. – М.: МИСИС. - 2006.



3. Энциклопедия «Википедия». - 2012 г.
4. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537.
5. Вишняков Я.Д., Кирсанов К.А., Киселева С.П. Инновационный менеджмент. Практикум: учебное пособие. М.: Изд-во «КНОРУС». - 2011 – 328 с.
6. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (Утв. 30 апреля 2012 г.).
7. Гридэл Т.Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: Учеб.пособие для вузов/Пер.с англ. Под ред. проф.Э.В.Гирусова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. - 2004.
8. Герасимов А.В. Экологическая безопасность современной России: политика обеспечения [Электронный ресурс]. URL: [http://www.mer177.com/mon\\_ger.php](http://www.mer177.com/mon_ger.php).
9. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ.
10. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2010 г. N 390-ФЗ "О безопасности".
11. Общая теория рисков: учеб.пособие для студ.высш.учеб.заведений/Я.Д.Вишняков, Н.Н.Радаев. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия». - 2008.
12. Киселева С.П. И.И.И. (Информация. Инновации. Инвестиции). Монография. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс». - 2011.

### **Сведения об авторе**

**Киселева Светлана Петровна** – зам. заведующего кафедрой «Управление природопользованием и экологической безопасностью» Государственного университета управления тел.: 8-903-250-56-26, e-mail: [svetlkiseleva@yandex.ru](mailto:svetlkiseleva@yandex.ru).

**УДК 629.735.064**

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ РИСКОВ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Доктор техн. наук, профессор Л.Г. Шаймарданов,  
кандидат техн. наук, доцент О.Г. Бойко, П.Г. Утенков  
СибГАУ**

*В работе предложен методологический подход к анализу рисков, основанный на использовании параметров потоков отклонений от нормальных условий полета, определяемых отклонениями в работе служб обеспечивающих выполнение полетов.*

**Ключевые слова:** инцидент, авария, катастрофа, отклонения, поток отклонений.

## **METHODOLOGICAL APPROACH TO RISK ANALYSIS IN CIVIL AVIATION**

**Dr. (Tech.), professor L.G. Shaimardanov,  
Ph.D. (Tech.) O.G. Boyko, P.G. Utenkov SibSAU**

*The methodological approach to risk analysis is considered in the article. The method is based upon usage the streams of deviation from normal flight conditions parameters. These parameters are defined by deviations in work of services which provide flight performance.*

**Key words:** incident, accident, disaster, deviations, deviation stream.

В последние десятилетия, в связи с развитием производств, в том числе и опасных, увеличиваются техногенные риски. Это обстоятельство побудило к развитию научного направления, в котором изучаются закономерности реализации техногенных рисков и разрабатываются научные подходы к их предотвращению.

В связи с интенсивным увеличением объемов перевозок, возросло число аварий и катастроф и в гражданской авиации. Специалистами отрасли выполняются исследования в области анализа рисков аварий и катастроф, и разрабатываются методы их предупреждения. Среди работ этого направления следует отметить работы А.Г. Гузея [1-3], и В.Д. Шарова [4-6].

В предлагаемой работе рассматривается методологический подход к анализу рисков аварий и катастроф, основанный на использовании суммарного параметра потока отклонений от нормальных условий полета. В соответствии с этим подходом, по каждой  $j$ -ой службе, обеспечивающей выполнение полетов, может быть выделено  $i$  отклонений, приводящих к особым ситуациям в полете. Возможность определения влияния среднего налета  $T_{ji}$  на  $i$ -е отклонение от нормальных условий полета, выявленное по  $j$ -ой службе, обеспечивают материалы расследования инцидентов. При этом, могут быть определены параметры потоков отклонений в работе служб, приводящих к инцидентам как

$$\omega_{ji} = \frac{1}{T_{ji}}. \quad (1)$$

Параметр  $\omega_{ji}$  – определяет среднее число отклонений за 1 час налета. Поскольку каждый полет самолета состоит из этапов, характеризующихся различной степенью опасности, то параметр потока отклонений целесообразно определять как число отклонений за 1 полет, как:

$$\omega_{ji}^p = \frac{\omega_{ji}}{T_p}, \quad (2)$$

где  $T_p$  – продолжительность типового полета.

Такое представление обеспечивает возможность построить матрицу, содержащую элементы  $\omega_{ji}^p$ , определяющие  $i$ -е отклонение по  $j$ -й службе за типовой полет. При этом суммарный параметр потока отклонений  $\omega_{\Sigma}^p = \sum_j \sum_i \omega_{ji}^p$  определит вероятность реализации одного из возможных отклонений в функции числа полетов:

$$q(N) = \omega_{\Sigma}^p \cdot N, \quad (3)$$

где  $N$  – число полетов, изменяющееся в диапазоне  $1 \leq N \leq \frac{1}{\omega_{\Sigma}^p}$ .

Поскольку параметр  $\omega_{\Sigma}^p$  определяется по статистическим материалам исследований инцидентов, то выражение (3) определит вероятность реализации в  $N$  полетах отклонения, приводящего к инциденту.

Дальнейшее решение задачи анализа рисков можно получить двумя путями:

- с использованием экспертных оценок перерастания инцидентов в аварии и катастрофы;
- с использованием статистического соотношения числа инцидентов  $I$  к числу аварий и катастроф за рассматриваемый период эксплуатации  $K$ , определенного как:

$$k = \frac{\dot{E}}{\bar{E}}. \quad (4)$$

Использование коэффициента  $k$  обеспечивает возможность приведения параметров потоков отклонений  $\omega_{ji}^P$ , приводящих к инцидентам, к параметру потока отклонений  $\omega_{ji}^k$ , приводящих к авариям и катастрофам как:

$$\omega_{ji}^k = \frac{\omega_{ji}^n}{k}. \quad (5)$$

Тогда представляется возможным определить суммарный параметр потока отклонений по рассматриваемым  $j$ -м службам, приводящий к авариям и катастрофам в виде:

$$\omega_{\Sigma}^k = \sum_j \sum_i \omega_{ji}^k. \quad (6)$$

Отсюда по аналогии с выражением (3) можно определить вероятность аварии либо катастрофы в функции числа полетов как:

$$q^k(N) = \omega_{\Sigma}^k \cdot N. \quad (7)$$

Положив в выражении (7) вероятность аварии либо катастрофы  $q^k(N)=1$ , определим число полетов до аварийной либо катастрофической ситуации, возникшей из-за реализации одного из отклонений от нормальных условий полета вследствие отклонений в работе одной из рассматриваемых служб:

$$N^k = \frac{1}{\omega_{\Sigma}^k}. \quad (8)$$

Полученное решение не дает ответа на вопрос о том, какое именно отклонение и по какой из служб может привести к катастрофе. Это хорошо согласуется с принципом неопределенности Гейзенберга используемого в статистической физике [7].

Вместе с этим, приведенный вероятностный анализ обеспечивает возможность сделать чрезвычайно важный для понимания механизма реализации катастроф вывод. Он состоит в том, что вероятность возникновения катастрофической ситуации зависит от реализации в полете только одного отклонения от нормальных условий полета. Это, по крайней мере, можно считать справедливым для отклонений, приводящих в полете к инцидентам. Приведенный вывод противоречит сложившимся представлениям о том, что аварии и катастрофы являются результатом реализации в полете многих отклонений от нормальных условий полета (многих факторов).

В целях подтверждения правомерности полученного вывода об однофакторности причин возникновения аварий и катастроф нами рассмотрены и проанализированы материалы расследований 80 инцидентов и 23 аварий и катастроф с вертолетами Ми-8Т и Ми-8МТ, и 88 инцидентов с самолетами Ту-154М по Красноярскому региону. Анализ показал, что, за редким исключением, инциденты являются событиями однофакторными. Материалы расследований 23 аварий и катастроф с вертолетами также подтверждают предположение о том, что они являются следствием реализации в полете одного отклонения от нормы, т.е. одного фактора. При расследовании указываются и сопутствующие факторы, но это скорее дань установившейся «концепции многофакторности аварий и катастроф». Вместе с этим в материалах расследований всегда удается выделить главный (доминирующий) фактор.

В предлагаемой работе вместо известного «правила 600» использован коэффициент  $k$ , определенный как отношение числа инцидентов к числу аварий и катастроф. Это связано с тем, что «правило 600» сформулировано по статистике инцидентов и катастроф с самолетами гражданской авиации, летающими по регулярным линиям. В работе же использованы статистические материалы расследования инцидентов, аварий и катастроф с вертолетами. На 80 инцидентов за рассмотренный период зарегистрировано 23 аварии и катастрофы, при этом выявлено значение коэффициента  $k=3,48$ .

В работе также акцентируется внимание на необходимости учета таких факторов как авиакомпания и регион полетов вертолетного парка. Это связано с тем, что инциденты в большой степени связаны с ложными срабатываниями сигнализаторов, которые обязывают экипажи осуществлять вынужденные посадки с подбором площадки. В таежном и горном регионе такие посадки часто приводят к авариям.

### **Литература**

1. Гузий А.Г., Онуфриенко В.В. Методология предотвращения авиационных происшествий через активное управление уровнем безопасности предстоящих полетов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №3, 2006. –М.: ВИНТИ. - 2006, –С. 52-60.
2. Гузий А.Г., Шаров В.Д. Методологический подход к априорной оценке эффективности мероприятий по предотвращению авиационных происшествий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №6. 2006. –М.: ВИНТИ. - 2006, –С. 76-79.
3. Гузий А.Г., Чуйнов А.А. Методологический подход к экспертному прогнозированию уровня безопасности полетов // Проблемы безопасности полетов. Информационный сборник. Вып. 10, –М.: ВИНТИ. - 2006.
4. Шаров В.Д., Еникеев Р.В. Обработка системы управления рисками в организации по техническому обслуживанию. Научный вестник МГТУ ГА. №162. – М. -2010г., –С. 20-30.
5. Шаров В.Д. Общие подходы к идентификации и оценке риска авиационного происшествия по группе факторов «Среда» // Проблемы безопасности полетов. Вып. 2, –М.: ВИНТИ. - 2007. –С. 21-30.
6. Шаров В.Д. Об одном методе оценки эффективности по предотвращению авиационных происшествий. // Проблемы безопасности полетов. Вып.11, 2006,–М.: ВИНТИ. - 2006.
7. Трайбус М. Термостатика и термодинамика. Пер. с англ. под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия. - 1970, – 504 с.

### **Сведения об авторах**

**Бойко Оксана Геннадьевна** - доцент кафедры ТЭЛАД факультета гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (СибГАУ), 660014, Красноярск, пр-т им. газ. Красноярский рабочий, 31, СибГАУ, Тел. 8 (391)233-15-51, раб. 8 (391)268-76-21, Факс.8 (391) 264-47-09, E-mail: bouko1962@yandex.ru

**Шаймарданов Лев Гайнулович** - профессор кафедры ТЭЛАД факультета гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (СибГАУ), Тел. 8 (391)233-15-51, раб.8 (391)294-65-29, Факс.8 (391) 264-47-09, E-mail: bouko1962@yandex.ru

**Утенков Петр Геннадьевич** - аспирант кафедры ТЭЛАД факультета гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева (СибГАУ), Тел. 8 (391)233-15-51, E-mail: upg84@mail.ru

УДК 629.039.58

## ВЗАИМОЗАВИСИМЫЕ СЛОЖНЫЕ СЕТИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Доктор философ. наук *И.А. Евин*

Учреждение Российской академии наук Институт машиноведения им.  
А.А.Благонравова РАН

*Т.Ф.Хабибуллин, Д.А. Чернобровкин*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

*Рассматривается проблема надежности наземного и подземного общественного транспорта крупных городов с точки зрения теории взаимозависимых сложных сетей. В качестве меры надежности берется величина критического порога из теории перколяции или размер гигантской связанной компоненты транспортной сетевой структуры. На основе зарубежных публикаций приведены сравнительные данные сетей общественного транспорта крупнейших городов мира. На примере троллейбусной сети и сети метрополитена показано, что транспортная инфраструктура Москвы формируется на сходных для всех мегаполисов мира закономерностях.*

**Ключевые слова:** безмасштабная сеть, нагрузка узла, фазовый переход.

## COMPLEX INTERDEPENDENT NETWORKS AND ROBUSTNESS OF PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS

Dr. (Philosophy) *I. Yevin*

Mechanical Engineering Institute, Russian Academy of Sciences

*T. Khabibullin, D. Chernobovkin*

Moscow Institute of Physics and Technology

*The problem of the robustness of metropolitic public transport systems in terms of the theory of interdependent complex networks is considered. As a measures of the robustness the critical threshold value from percolation theory and the size of the giant connected component of the transport network structure are offered. On the basis of foreign publications comparisons of public transport networks of the largest cities in the world are maid. On the examples of a trolleybus and subway networks it is shown that the transport infrastructure of Moscow formed in a similar way as in others megacities.*

**Key words:** scale-free network, betweenness centrality, phase transition.

### Введение

Сложные инфраструктурные системы, образующие жизненно важные для человека объекты жизнедеятельности, существенным образом зависят друг от друга, и повреждение или критические перегрузки в одной из них может повлечь каскадные процессы выходы из строя других объектов. Сети водоканалов, снабжающих население водой, связаны с водохранилищами гидроэлектростанций и системами охлаждения атомных электростанций. Все виды электростанций связаны в единую сетевую структуру. Электрическая энергия, вырабатываемая электростанциями, питает сети общественного транспорта, производственную и

финансовую деятельность, коммуникационные сети (Интернет, телефонные компании и т.п.), которые, в свою очередь, участвуют в управлении сетями электростанций, производственными объектами и банковскими сетями. Стихийные бедствия (извержения вулканов, землетрясения, цунами и т.д.), войны или террористические действия, повреждающие элементы любой из перечисленных выше сетевых структур, может вызвать каскадные процессы перегрузок и выхода из строя части или даже всей взаимосвязанной и взаимозависимой структуры электрогенерирующих, транспортных, коммуникационных, производственных и финансовых объектов.

В последние годы теория сложных сетей привлекла широкое внимание исследователей как новый эффективный инструмент изучения сложных систем разнообразной природы: от биологических и социальных до информационных и технологических [3, 10]. Заимствовав из классической теории графов многие важные понятия и методы, современная теория сложных сетей базируется на обнаруженных эмпирически универсальных свойствах реальных сетей (Интернет, WWW, сети друзей и знакомых, сети метаболических реакций и белковых взаимодействий в живой клетке и т.д.) и, прежде всего, на общем для всех перечисленных и многих других реальных сетей степенном законе распределения узлов по числу связей  $P(q) \propto q^{-\gamma}$ , где  $P$  есть вероятность того, что случайно выбранный узел сети имеет  $q$  связей. Такой закон означает, что сложные сети состоят из большого числа узлов с малым числом связей и небольшого числа узлов с большим числом связей - хабов (от английского hub – концентратор, накопитель), которые во многом и определяют свойства сложных сетей.

Например, устойчивость сложных сетей со степенным законом распределения к случайным повреждениям принципиально отличается от устойчивости случайных пуассоновских сетей: если последние очень уязвимы к случайным повреждениям и распадаются на фрагменты при небольшом пороговом значении доли вышедших из строя узлов, то сложные сети очень устойчивы к таким повреждениям. В то же время сложные сети чрезвычайно уязвимы при целенаправленном повреждении (атаке) одного или нескольких хабов.

Современная теория сложных сетей опираются на идеи и методы статистической физики, теории перколяции, теорию фракталов, теорию самоорганизованной критичности, теорию синхронизации [10], а также понятия теории графов. Так устойчивость сетевых структур характеризуется величиной критического порога из теории перколяции или определяется размером гигантской связанной компоненты. Были разработаны также новые количественные понятия и методы их вычисления, характеризующие многие важные свойства сетей, такие как коэффициент кластеризации, модулярность, корреляция узлов (ассортативность) и т.д.

В последние годы интенсивно развивается моделирование чрезвычайных ситуаций в крупных техногенных системах с точки зрения теории взаимозависимых сложных сетей. На первых этапах этого подхода исследовались сценарии возникновения и развитие нештатных ситуаций в одной определенной сетевой структуре, например, возникновение и распространение перегрузок и каскадные отключения в сети электростанций. Примером таких лавинообразных процессов могут служить каскадное отключение электричества, как это имело место на западе США и Канады 14 августа 2003 года при повреждении на одной из электростанций в Огайо, когда миллионы людей и ряд крупных объектов около 15 часов оставались без света.

Впоследствии стали моделировать возникновение чрезвычайных ситуаций в системе двух взаимодействующих сетевых структур, например, сети Интернет и сети электростанций. Повреждения на электростанциях вызывает отключение некоторых узлов сети Интернет, что в свою очередь приводит к продолжению отключения электростанций, управляемых через Интернет. В реальных сетях такого рода каскадные отключения произошли в Италии 28 сентября 2003 года [7]. В таких взаимозависимых сетях существует два типа связей: соединительные связи в каждой из сетей и взаимодействующие

связи между сетями. Соединительные связи позволяют каждой из сетей выполнять ее собственные функции, в то время как взаимодействующие связи отражают тот факт, что данный узел одной сети существенно зависит от узлов другой сети.

С. Булдырев (Sergey Buldyrev) с коллегами исследовали поведение двух сетей А и В, причем определенная доля узлов сети А связана с узлами сети В, а некоторая доля узлов сети В связана с узлами сети А [1, 4]. Если узлы в одной из этих сетей выходят из строя, это может вызвать выход из строя узлов в другой сети, а это повлечет за собой итерационное каскадное повреждение узлов в обеих сетях. Достигнув определенного критического значения отношения вышедших из строя узлов к общему числу узлов, происходит фазовый переход первого рода, когда возникает скачкообразный полный распад и выход из строя обеих сетей А и В, а, значит, и всей системы в целом (рис. 1). Численные и аналитические исследования показывают, что при уменьшении силы связи между узлами А и В, происходит переход от фазового перехода первого рода к переходу второго рода.

Недавно появились работы, в которых исследуется взаимодействие уже трех сетевых структур [4]. Например, это может быть сеть WWW, поврежденные хакерской атакой, сеть электростанций, в которой возможно случайное повреждение и, наконец, сети общественного транспорта, функционирование которых невозможно без электропитания (сети метро, троллейбусов, трамваев, городских электричек).

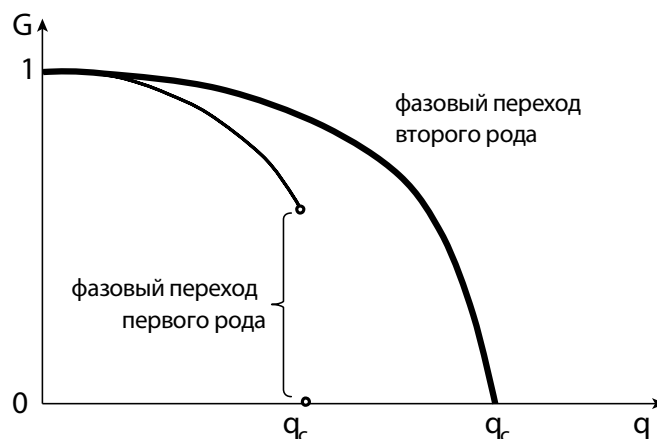


Рис. 1. Перколяционные фазовые переходы первого и второго рода в каскадных процессах в сложных сетях.

Величина  $G$  есть доля от общего числа соединенных узлов в сложной сети состоящей из двух сетей, часть узлов которых связаны между собой,  $q$  есть доля узлов удаленных из сети, а  $q_c$  есть критическое значение этой доли, при котором происходит распад всей сложной сети на фрагменты ( $G=0$ ). При слабых связях между двумя сетями полная фрагментация происходит непрерывно, а при сильных связях такой переход происходит скачком, аналогично тому, как происходит фазовый переход первого рода [7].

Современная теория взаимозависимых сетей основана на формализме производящих функций (generating functions) [7, 10], которая позволяет для сетей с различными законами распределения узлов по числу связей достаточно просто вычислять их основные статистические характеристики: средние значения, дисперсии, размеры гигантских связанных компонент и т.д. Недавно были развиты методы анализа, обобщающие результаты изучения надежности и безопасности двух и трех взаимосвязанных сетей на случай системы  $n$  взаимодействующих сетей, которые схематически можно представить как сеть сетей (рис. 2):

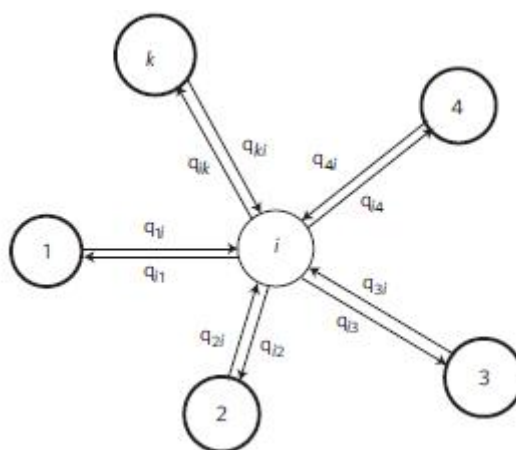


Рис. 2. Схематическое представление сети взаимозависимых сетей.

Окружности представляют собой взаимозависимые сети, а стрелки соединяют частично взаимозависимые пары. Например, доля  $q_{4i}$  узлов в сети  $i$  зависят от узлов сети.

На основе теории перколяции была также развита теория более реалистичного сценария для двух частично взаимосвязанных сетей. В этом случае обе сети имеют определенную долю полностью автономных узлов, функции которых не связаны непосредственно с узлами другой сети. Было обнаружено, что когда доля автономных узлов достигает определенного критического значения, сценарий коллапса всей взаимосвязанной сети сменяется со скачкообразного (фазовый переход первого рода) на классический непрерывный (фазовый переход второго рода). Показано, что пара двух взаимосвязанных сетей становится более надежной, если автономные узлы будут иметь большое число связей [7,4]. Такой выбор смягчает вероятность возникновения катастрофических каскадных повреждений.

На основе этого подхода можно аналитически вычислять динамику каскадных процессов в сетях связанных между собой различным образом, например, как показано на рис. 3.

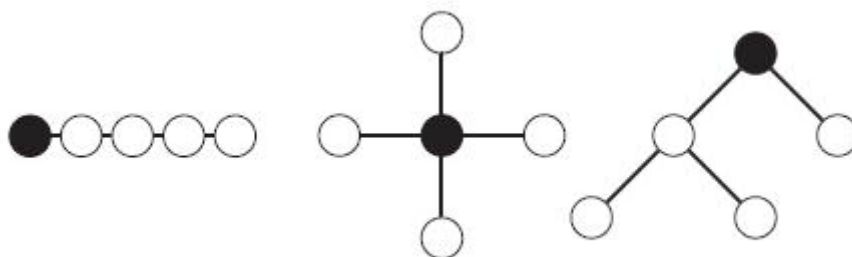


Рис. 3. Три типа связи для пяти взаимосвязанных сетей: в виде цепочки, звезды и дерева. Черным кружком обозначена сеть, в которой начинается повреждение.

Расчеты показывают, что с ростом числа взаимосвязанных сетей получаемая общая сетевая структура становится все более ненадежной и уязвимой. При этом качественно меняется сам характер неустойчивости: если для одной сети распад гигантской связанной компоненты происходит непрерывно по сценарию фазового перехода второго рода, то для сети взаимосвязанных сетей распад происходит уже скачкообразно как при фазовом переходе первого рода, причем величина перколяционного порога уменьшается с ростом числа взаимосвязанных сетей.



## Безмасштабные взаимозависимые сети

Формализм производящих функций с равным успехом применим и для взаимосвязанных безмасштабных сетей. Для различных видов общественного транспорта крупнейших городов мира свойственна именно степенная зависимость количества узлов от числа связей. Проведенные нами исследования показали, что для московского метро, как сетевой структуры, в которой узлами являются станции метро, а связи – путепроводы, связывающие станции, распределение узлов по числу связей можно описать в виде степенной зависимости с показателем степени  $\gamma$  равной 3,7835. Таким образом, для московского метро, как и для всех безмасштабных сетей, характерно небольшое количество узлов с большим количеством связей – хабов и большое число узлов с малым числом связей. Исследования для метрополитенов других городов мира также показало наличие степенной зависимости в распределениях станций по числу сходящихся в них связей [2].

Нами была исследована также сетевая структура троллейбусных маршрутов г. Москвы. Маршруты троллейбусов представляют собой различные узлы сети, и два узла соединены связью, если соответствующие им маршруты имеют хотя бы одну общую остановку. На рис. 4 показана сеть троллейбусных маршрутов Москвы, состоящая из 121 узлов.

Для московского метро, сети маршрутов троллейбусов и автобусов Москвы обнаружено положительное значение коэффициента корреляции соседних узлов (ассортативность), что свойственно также транспортным сетям всех крупных городов мира [6]. Таким образом, транспортная инфраструктура Москвы формируется по общим для всех крупных городов мира закономерностям.

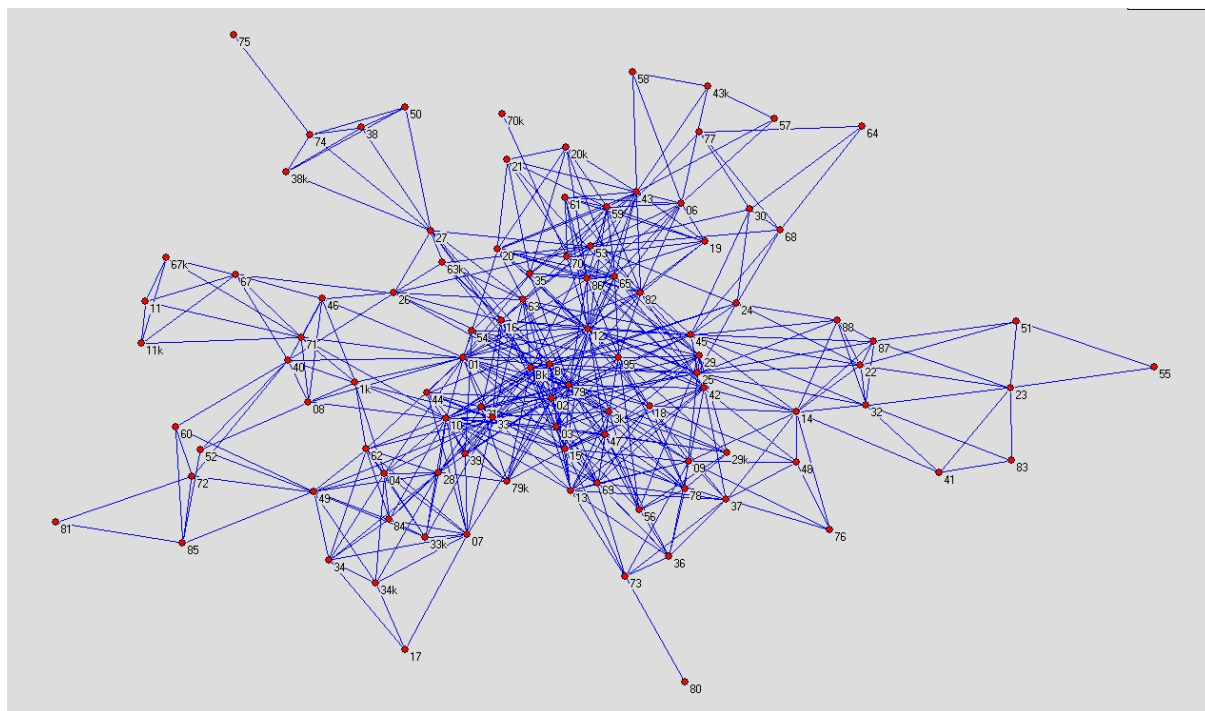


Рис. 4. Сеть для троллейбусных маршрутов г.Москвы.  
У этой сети число узлов равно 102, ассортативность 0,287.

В последнее время опубликовано несколько работ, в которых исследованы сетевые свойства всего наземного и подземного общественного транспорта крупных мегаполисов в целом: автобусов, троллейбусов, трамваев, метро, речных трамваев, городских

поездов. Для представления общественного транспорта в качестве сетевых структур в основном используются два пространства – **L** и **P** (рис. 5):

В табл. 1 даны размеры сетей общественного транспорта  $N$  (число остановок), показатель степени  $\gamma$  в степенном распределении узлов по числу связей и виды общественного транспорта в некоторых крупных городах мира [6].

Таблица 1

**Виды общественного транспорта в некоторых крупных городах мира и их основные характеристики.**

Принятые сокращения: А – автобусы, Т – троллейбусы, М – метро, Р - трамвай, П - городской поезд, Е - речной трамвай.

| Город       | $N$   | $\gamma$ | Виды общественного транспорта: |
|-------------|-------|----------|--------------------------------|
| Берлин      | 2992  | 4,3      | АМРП                           |
| Даллас      | 5366  | 5,49     | А                              |
| Дюссельдорф | 1494  | 3,76     | АМР                            |
| Гамбург     | 8084  | 4,74     | АМРПЕ                          |
| Гонконг     | 2024  | 2,99     | А                              |
| Лондон      | 10974 | 4,48     | АМР                            |
| Лос Анжелес | 44629 | 4,85     | А                              |
| Стамбул     | 4043  | 4,04     | АМР                            |
| Москва      | 3569  | 3,22     | АТМР                           |
| Париж       | 3728  | 2,62     | АМ                             |
| Рим         | 3961  | 3,95     | АР                             |
| Сан Паулу   | 7215  | 2,72     | А                              |
| Сидней      | 1978  | 4,03     | А                              |
| Тайпей      | 5311  | 3,74     | А                              |

На рис. 6 представлено распределение узлов по степеням для сетей общественного транспорта в пространстве **L** для трех городов когда обе координаты даны в логарифмическом масштабе.

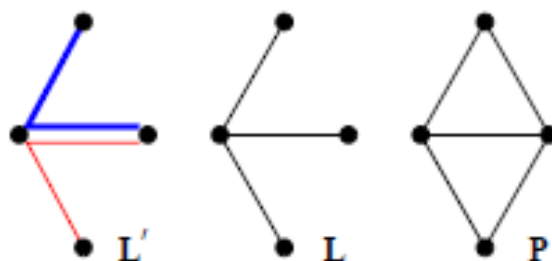


Рис. 5. Два основных представления Сетей Общественного Транспорта (СОТ): пространство **L** и пространство **P**. **L'** – узлы есть остановки (станции), связи – различные маршруты. **L** – то же самое, что **L'**, но совпадающие маршруты считаются одним маршрутом. **P** – любые две остановки (станции) связаны, когда они обслуживаются общим маршрутом.

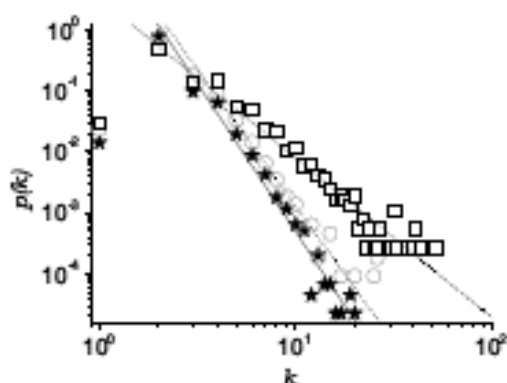


Рис. 6. Распределение по степеням в  $L$  пространстве для Лондона (кружочки  $\gamma = 4,48$ ), Парижа (квадратики  $\gamma = 2,62$ ) и Лос Анжелеса (звездочки  $\gamma = 4,85$ )

В некоторых работах изучается уязвимость сетей общественного транспорта при случайных и целенаправленных повреждениях узлов. Например, в работе [9], на примере Шанхая, сеть метро была подвержена атакам – удалением узлов из нее. В этой работе рассматривается три типа атаки: 1) поочередно удаляются узлы с наибольшим числом связей; 2) поочередно удаляются узлы с наибольшим значением нагрузки (betweenness centrality), 3) узлы удаляются случайным образом.

В статье вводится параметр – «эффективность», который определяется как средний обратный кратчайший путь. Понятно, что чем меньше кратчайшие пути, тем больше эта величина, и тем «эффективнее» и надежнее сеть. Рассмотрена зависимость этой величины от доли удаленных узлов, причем после каждого удаления узла все характеристики пересчитываются. Показано, что при удалении узлов не случайным образом, эффективность падает значительно быстрее, а при удалении узлов по параметру нагрузки (betweenness centrality) скорость спада несколько больше.

В статье рассмотрены аналогичные зависимости и для некоторых других параметров, характеризующих функциональность сети, и все они показывают качественно схожие результаты. Таким образом, можно сделать вывод, что мерой, наилучшим образом характеризующей важность узла, является показатель его нагрузки (betweenness centrality). В работе [2] нами были опубликованы результаты расчетов betweenness centrality для станций Московского метро.

Аналогичные качественные результаты были получены для совокупных сетей различных видов общественного транспорта для крупнейших городов мира, основные параметры которых представлены в табл. 1. В этих исследованиях изучалась зависимость размера гигантской связанной компоненты сети общественного транспорта от доли удаленных узлов этой сети [6]. Для всех крупных городов получены сходные зависимости, свойственные перколяционным фазовым переходам второго рода (рис. 1).

### Как повысить надежность сетей общественного транспорта

В настоящее время появились подходы, позволяющие улучшать надежность сети формирующейся из связанных между собой сетей. Один из таких подходов рекомендует увеличивать доли автономных узлов, особенно узлов с большим числом связей, защищая при этом такие узлы от целенаправленного повреждения. Особенно это важно для сайтов инфраструктурных объектов в сети WWW, поскольку именно они в настоящее время наиболее уязвимы для хакерских атак. Кроме того,

соединение между собой узлов с приблизительно одинаковым числом связей также увеличивает надежность взаимосвязанных сетей в целом.

Мы выражаем благодарность своим коллегам по кафедре вычислительных моделей технологических процессов МФТИ за полезные обсуждения. Все вычисления в данной работе были выполнены с использованием пакетов программ Gephi, NetworkX и Pajek.

### **Литература**

1. Евин И.А. Теория сложных сетей и моделирование безопасности технических объектов. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №5, 2010 стр.77-85
2. Евин И.А., Чернобровкин Д.А. Уязвимость и надежность метрополитена как сложной транспортной системы. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №5, 2011, стр. 107-112
3. Albert R., Barabasi A.-L., 2002, Statistical mechanics of complex networks, // *Rev. Mod. Phys.* 74, 47; arXiv:cond-mat/0106096.
4. Buldyrev, S, Shere N., and. Cwlich G. Interdependent networks with identical degrees of mutually dependent nodes. *PHYSICAL REVIEW E* **83**, 016112. - ,2011
5. Derrible S, Kenned Ch. The complexity and robustness of metro networks. *Physica A* 389 (2010) 3678-3691
6. Ferber Ch., Holovach T., Holovach Yu., Palchykov V. Modeling metropolis public transport. ArXiv: 0709.3203. 20 Sept. 2007
7. Gao J., Buldyrev S., Stanley E., Havlin Sh. Networks formed from interdependent networks. *Nature Physics*. V. 8, January 2012.
8. Hu Y., Ksherim, B., Cohen R., and Havlin Sh. Percolation in interdependent and interconnected networks: Abrupt change from second- to first-order transitions. *PHYSICAL REVIEW E* **84**, 066116 (2011)
9. Jianhua Zhang, Xiaoming Xu, Liu Hong, ShuliangWang, Qi Fei. Networked analysis of the Shanghai subway network, in China. - *Physica A.* – 390, 2011 4562–4570
10. Newman M.E.J. *Networks. An Introduction.* Oxford University Press. 2011

### **Сведения об авторах**

**Евин Игорь Алексеевич**, старший научный сотрудник Отдела вибрационной биомеханики института машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, доцент кафедры вычислительных моделей технологических процессов Московского физико-технического института. Телефон: 8-(499)135-54-35, E-mail: yevin@list.ru

**Хабибуллин Тимур Фаритович**, студент кафедры вычислительных моделей технологических процессов Московского физико-технического института. E-mail: donkeyhot89@gmail.com

**Чернобровкин Дмитрий Андреевич**, студент кафедры вычислительных моделей технологических процессов Московского физико-технического института. E-mail: jeffreylust@gmail.com

УДК 539.1.07

## УРОКИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА-1»

Доктор техн. наук, профессор *Б.В. Поленов*  
(ЗАО «СНИИП-АВЕРС»)

*Проведен анализ современного состояния и прогноз развития ядерной энергетики в России и в мире. Определены актуальные задачи энергетики, в том числе с использованием возобновляемых и альтернативных источников энергии, после радиационной аварии на японской АЭС «Фукусима-1».*

**Ключевые слова:** ядерная энергетика, АЭС, радиация, радиационная авария, радиационная безопасность, возобновляемые и альтернативные источники энергии.

## LESSONS OF THE RADIATION ACCIDENT ON THE NPP FUKUSHIMA 1

Dr. (Tech.), professor, *B.V. Polenov*  
JSC “SNIIP” (Specialized Research Institute of Instrumentation) State Atomic  
Energy Corporation “Rosatom”, Russia

*The Article analyzer the situation after radiation accident on the Japanese NPP Fukushima 1 and forecast of evolution of the nuclear power engineering.*

**Key words:** nuclear power, nuclear power plant, radiation, radiation safety, renewal and alternative power sources.

В настоящее время основную долю в обеспечении энергии в развитых странах занимает тепловая энергетика, основанная на ископаемом углеводородном топливе: нефти, газе, каменном угле, сланцах и др. Ядерная энергетика в общем производстве электроэнергии в разных странах составляет от 10 до 80 %.

Использование невозобновляемых углеводородных источников энергии и несовершенных технологий привело к повышенным выбросам в атмосферу парниковых газов. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) объем парниковых газов в атмосфере в настоящее время достиг рекордного уровня. За последние два столетия содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере за счет сжигания ископаемых видов топлива, вырубки лесов и интенсивного землепользования увеличилось на 39 %. Парниковые газы принято считать источником глобального потепления в последние годы. Доля двуокиси углерода в суммарном увеличении воздействия парниковых газов на климат составила 64 %. Мерами по борьбе с глобальным потеплением являются более широкое использование неуглеводородных и возобновляемых источников, ядерной энергии [1-2].

Несмотря на открытие новых запасов углеводородного топлива, последние 5-7 лет были отмечены широким развитием в мире ядерной энергетики, и этот период стал «ренессансом ядерной энергетики». Он характеризовался увеличением количества проектируемых и строящихся АЭС – атомных (ядерных) электростанций (в английской терминологии это NPP – Nuclear Power Plant), разработкой новых типов блоков.

11 апреля 2011 года на японской АЭС «Фукусима-1» в результате природной чрезвычайной ситуации - цунами произошла тяжелая радиационная авария. Впервые природная чрезвычайная ситуация привела к крупной техногенной радиационной катастрофе. По признакам Международной шкалы ядерных событий ИНЕС (МАГАТЭ) авария была отнесена к 7-

ому самому высокому уровню событий (тяжелая авария) – крупный выброс: крупномасштабные воздействия и последствия на здоровье человека и окружающую среду [2].

В истории мировой ядерной энергетики эта авария стала третьей после аварии на АЭС «Тримайл-Айленд» (США) в 1979 году (5-ый уровень) и аварии на Чернобыльской АЭС (СССР) в 1986 году (7-й уровень) [1-3].

Выброс радиоактивности на четвертом блоке ЧАЭС 26 апреля 1986 года с погрешностью  $\pm 50\%$  составил 22 МКи ( $8,2 \cdot 10^{17}$  Бк), а к 25 мая 1986 года суммарный выброс достиг 50 МКи [4]. Выброс активности в результате аварии на АЭС «Фукусима-1» по разным оценкам составил от 20% до 30% от выброса на ЧАЭС.

Аварии на АЭС «Тримайл-Айленд» (ТМА) и «Фукусима-1» не привели к гибели персонала от радиационного воздействия. В результате аварии на ЧАЭС большие дозы облучения получили 147 человек. Среди 30 первых погибших в результате сильного радиационного воздействия оказались лица из персонала станции и пожарные. Из 190 тыс. участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС заболело лейкозом 112 человек, в том числе по радиогенным причинам – 55. Воздействию радиации подверглись 1,7 млн. человек. Медиками был установлен диагноз около 2 тыс. случаев рака щитовидной железы [1]. Опыт наблюдения за изменениями флоры и фауны в зонах радиоактивного загрязнения в течение 26 лет показал, что к первоначальному состоянию сначала вернется фауна (радиационное воздействие меньше всего отразилось на насекомых), а затем флора.

От взрыва водорода на АЭС «Фукусима-1» (по технологическим причинам) погибли 5 человек. Отдаленные последствия аварий на АЭС «Фукусима-1», как и после аварии на ЧАЭС, – рак щитовидной железы, в том числе у детей.

В условиях тяжелой аварии необходимо было быстро принимать решения и быстро их выполнять. Однако высококвалифицированный персонал АЭС «Фукусима-1» оказался не готов работать в условиях параллельно развивающихся аварийных процессов тяжелой многофакторной аварии. Принятие решений шло через 12 уровней управления между руководителями и ликвидаторами. Ликвидаторы строго придерживались инструкций, которые составлялись заранее без учета особенностей произошедшей аварии [2].

На территории, прилегающей к АЭС «Фукусима-1», проживало около 3 млн. человек. Из зоны загрязнения радиусом 20 км было эвакуировано 80 тыс. человек. Эвакуация была проведена с территорий, где ожидаемая доза облучения составит 20 мЗв за год. На середину 2011 года среди ликвидаторов последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» 2 чел. получили дозу 500 мЗв, 30 чел. получили дозу 100 мЗв, 5 чел. – 150 мЗв, 2 человека получили поражение кожи ног. Главная опасность после данной аварии – психологическая, в том числе стресс. После аварии число суицидов на территории, прилегающей к АЭС «Фукусима-1», увеличилось на 60 %.

Окончательная ликвидация последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» может занять от трех до нескольких десятков лет [2].

**Авария на АЭС «Фукусима-1» стала после аварии на Чернобыльской АЭС вторым предупреждением человечеству о необходимости повышения требований к безопасности АЭС.**

После аварии на АЭС «Фукусима-1» об отказе в использовании ядерной энергии заявили страны Западной Европы – Германия, Швеция, Швейцария, Италия, Австрия, Голландия, Испания, Бельгия, а также Япония и Новая Зеландия.

**«Ядерный ренессанс», который имел место в последние годы, был приостановлен. На первое место среди проблем в ядерной энергетике стала ядерная безопасность.**

В России после аварии на АЭС «Фукусима-1» были реализованы дополнительные мероприятия по увеличению безопасности АЭС: проведены «стрессовые» испытания на действующих АЭС, а также проведен анализ проектов действующих и строящихся энергоблоков по работе в условиях аварийных ситуаций. Был разработан план допол-

нительных мероприятий по повышению безопасности АЭС, одним из мероприятий которого явилось оснащение всех энергоблоков дополнительными передвижными дизель-генераторами, дизель-насосными установками и мотопомпами. Это дало возможность в экстренных случаях обеспечить станции электроэнергией и водой.

Страны Евросоюза (ЕС) решили усилить безопасность всех своих радиационных объектов. Ряд стран ЕС провели более строгую, чем ранее проводившуюся, проверку безопасности своих АЭС. В некоторых странах ЕС прошли активные дебаты о судьбе своих АЭС, предлагалось принять мораторий на строительство новых АЭС.

В августе 2011 года восемь ядерных блоков в Германии были официально заглушены в рамках программы по постепенному отказу от ядерной энергетики (19 блоков и 25% энергобаланса страны) к концу 2022 года. Однако зимой из-за аномальных холодов и угрозы дефицита электроэнергии остановленные реакторы были снова запущены.

Во второй половине 2011 – в начале 2012 годов в Великобритании были выведены из эксплуатации два энергоблока с реакторами Magnox мощностью 217 МВт на АЭС «Олдбери». Первый энергоблок был самым старым энергоблоком в мире. Его энергетический пуск состоялся в ноябре 1967 года. В апреле 2012 года был окончательно остановлен энергоблок №2 АЭС «Уилфа», который безопасно проработал 40 лет.

Во Франции, являющейся одним из лидеров в мировой ядерной энергетике, в результате победы на президентских выборах Франсуа Олланда может быть провозглашен антиядерный курс. Первой закрытой АЭС станет старейшая из них «Фессенхайм». Доля ядерной генерации к 2025 году может быть сокращена до 50%.

В Швейцарии в сентябре 2011 года был принят закон об отказе от использования ядерной энергии. Он предусматривает поэтапное закрытие всех четырех АЭС (пять блоков совокупной мощностью 3,4 ГВт) до 2034 года.

В декабре 2011 года Еврокомиссия представила «Дорожную энергетическую карту – 2050». Базовый сценарий, в том числе «Энергетическая стратегия – 2020», предполагает прекращение усилий по развитию ядерной энергетики в Европе. К 2050 году будут работать только строящиеся в настоящее время АЭС, а существующие будут завершать свой жизненный цикл без замены новыми АЭС. В 2050 году ядерная энергетика будет давать менее 3% общего производства электроэнергии вместо 14% в настоящее время. К 2050 году почти все производство электроэнергии в странах Евросоюза должно осуществляться без выбросов CO<sub>2</sub>.

В России в ближайшие годы должны быть закрыты АЭС, в том числе с реакторами типа РБМК-1000, по которым заканчиваются сроки эксплуатации.

На Украине 26 апреля 2012 года начато строительство нового саркофага «Укрытие-2» над четвертым блоком ЧАЭС. Он накроет старый саркофаг. Строительство осуществляется на средства стран-доноров.

В Японии к началу мая 2012 года все 54 энергетических реактора на 17 АЭС после «стрессовых» испытаний были временно остановлены. Руководство префектуры города Осака, вблизи которого расположены АЭС «Ои», «Михама» и «Такахама», первым в Японии сформулировало 8 требований, которые должны быть выполнены перед повторным запуском АЭС. К ним, в частности, относятся: создание независимой организации, контролирующей работу АЭС, ужесточение стандартов работы АЭС. Энергетическая компания, эксплуатирующая АЭС, должна согласовывать действия, касающиеся эксплуатации станции, с региональными властями. Для повторного запуска реакторов требуются обязательные стресс-тесты, которые должны быть признаны не только японскими экспертами, но и представителями МАГАТЭ. После этого компания-оператор должна получить одобрение правительства и согласие местного населения.

Попытки правительства Японии перезапустить 2 реактора АЭС «Ои» в конце апреля 2012 года привели к голодовке протеста жителей префектуры Осака. После аварии на

АЭС «Фукусима-1» было приостановлено строительство двух энергоблоков мощностью 1,3 ГВт каждый - энергоблок №3 АЭС «Симане» и энергоблока №1 АЭС «Охма».

Однако спустя примерно год после аварии на АЭС «Фукусима-1» выяснилось, что многие ядерные державы не отказались от своих планов строительства АЭС. К ним относятся США, Россия, Франция, Великобритания, Канада, Украина, Белоруссия, Армения, Китай, Индия, Южная Корея, страны Восточной Европы (Чехия, Польша, Болгария, Венгрия, Словакия, Литва, Румыния), страны Ближневосточного региона и Юго-Восточной Азии, Саудовская Аравия, Иордания, Бангладеш, ЮАР и другие.

В сложившейся ситуации развитые страны стали на путь разработки новых более безопасных АЭС с учетом проектных и запроектных аварий.

На начало 2012 года в мире эксплуатировалось 435 энергоблоков, еще 63 находилось в стадии строительства. Они обеспечивали около 16 % общемирового производства электроэнергии. Самый большой ядерный парк имеет США – 104 реактора. В Европе до последнего времени было 140 действующих реакторов и еще 50 строилось. Во Франции, которая находится на втором месте после США по суммарной мощности АЭС, действуют 58 атомных энергоблоков, вырабатывающих около 75% электроэнергии. В Японии 54 энергоблока АЭС производили почти треть электроэнергии страны. В России на 10 АЭС действуют 34 энергоблока, которые обеспечивают около 16 % общей выработки электроэнергии [1,2].

В России развитие ядерной энергетики рассматривается как инструмент обеспечения энергетической безопасности страны. России необходим постоянный ввод в действие новых энергоблоков, в том числе и ядерных, так как рост энергопотребления в стране опережает прогнозы, заложенные в Энергетической стратегии.

**Ядерная энергетика** не требует подачи большого количества топлива, характеризуется малым выбросом углекислого газа. Однако для нее характерны радиоактивные выбросы и сбросы, технические сложности консервации и захоронения реактора после срока службы, а также топлива и радиоактивных отходов. Это приводит к большим расходам по выводу из эксплуатации АЭС. При эксплуатации АЭС в нормальных условиях радиоактивные выбросы от них существенно меньше, чем от угольных ТЭЦ [1-5].

Основные направления развития ядерной энергетики в России определены в «Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI века», Федеральной целевой программе «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года», «Стратегии развития ядерной энергетики России до 2050 года», учитывающей положения «Энергетической стратегии России до 2030 года» [2].

В документе, подготовленном руководителями национальных научных ядерных центров России и США, под названием «Глобальному ядерному будущему» указывается, что ключевая роль в ядерной энергетике будущего, отвечающей требованиям XXI века, должна принадлежать реакторам на быстрых нейтронах с жидкотеплоносительным теплоносителем.

Россия должна завершить разработку проектов АЭС на основе реакторов БН-1200, БН-1600, БН-1800, разработать проекты инновационных реакторов на быстрых нейтронах с различными типами теплоносителей. В 2014 году должна быть завершена разработка технического проекта промышленного реактора четвертого поколения на быстрых нейтронах «БРЕСТ-300» мощностью 300 МВт, использующего свинцовый теплоноситель. Строительство первого энергоблока должно начаться в 2016 году. В случае успеха и подтверждения безопасности данного реактора будет поставлен вопрос о разработке более мощной реакторной установки «БРЕСТ-1200». Ведутся инновационные разработки АЭС для региональной энергетики - ВВЭР-600, ВБЭР-250, 375, 500.



В настоящее время в России одновременно строятся одиннадцать атомных энергоблоков. В 2012 году в строй должен войти четвертый энергоблок Калининской АЭС с реактором ВВЭР-1000. В сентябре 2014 года предстоит энергопуск реактора БН-800 на Белоярской АЭС. Продолжаются работы по строительству первой плавучей АЭС (ПАТЭС). Началось строительство первого блока Балтийской АЭС (Baltiisk-1). Решается вопрос о строительстве новых АЭС: «Тверской-2» и Нижегородской. Россия, которая имеет в настоящее время пять действующих атомных ледоколов, решила построить еще три таких ледокола. Достигнуто соглашение о строительстве Россией Островецкой АЭС в Белоруссии. Подписан контракт о строительстве третьего и четвертого энергоблоков Хмельницкой АЭС на Украине. Вступил в силу контракт на сооружение еще двух атомных энергоблоков Тяньваньской АЭС в Китае.

В Индии с участием России запланировано строительство шести энергоблоков на трех площадках, в том числе на АЭС «Куданкулам» (несмотря на акции протеста проживающего вблизи населения, обеспокоенного безопасностью ядерной энергетики), «Харипур» и другом третьем участке. Первая очередь АЭС «Куданкулам» состоит из двух энергоблоков ВВЭР-1000/412. В конце апреля 2012 года на энергоблоке №1 АЭС «Куданкулам» было успешно завершено тестирование всех четырех каналов безопасности. Всего Индия планирует построить не менее 24 ядерных энергоблоков: 16 российских блоков, два французских реактора EPR разработки Areva в Джайтапуре и четыре собственных реактора PHWR мощностью 700 МВт каждый в Какрапаре и Раджастане.

В России в стадии разработки находится ядерный реактор четвертого поколения на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (совместно с Комиссариатом по атомной энергии и альтернативным источникам энергии Франции, которая предоставит технологию замкнутого топливного цикла, в том числе с использованием отходов, накопленных в ядерной энергетике).

Энергетика, основанная на ядерных реакторах четвертого поколения, является возобновляемым источником энергии. Переход на замкнутый топливный цикл, основанный на эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах, где в качестве топлива используется плутоний и природный необогащенный уран, позволит обеспечить топливом атомную энергетику на 1,5-2 тыс. лет.

ОКБ «Гидропресс» начинает проектирование АЭС с реактором ОВВЭР-600, в котором будет реализована система управления проектными и запроектными авариями, а также будет использоваться более современное оборудование.

В 2012 году в России завершается разработка проекта двухблочной АЭС с водяным энергетическим реактором ВВЭР-1300 (ВВЭР-ТОИ - типовой оптимизированный информатизированный). Срок службы реактора 60 лет, электрическая мощность 1255 МВт и КПД 38%. Предполагается, что блоки будут выдерживать землетрясения до 8 баллов по шкале MSK-64. Блок способен автономно работать 72 часа в случае потери внешнего энергоснабжения. Этот параметр стал актуальным после аварии на АЭС «Фукусима-1». Прорабатывается адаптация проекта ВВЭР-ТОИ на АЭС в Нововоронеже, Нижегородской АЭС и АЭС «Аккуя» (Турция). Зарубежные аналоги реактора ВВЭР-ТОИ – французский (Areva) EPR-1500, южно-корейский блок (KEPCO) APR-1400 и американский (Westinghouse) AP-1000.

Следует отметить, что организациям и компаниям, связанным с ядерной энергетикой, например Westinghouse (США), CEA (Commissariat a la Energy Atomus, Франция), Siemens (Германия), ГК «Росатом» (Росэнергоатом, Россия) и другим, придется осваивать новые рынки экспорта АЭС, например в Турции (проект АЭС «Аккую» с четырьмя энергоблоками мощностью 4,8 тыс. МВт и проработка площадки для второй АЭС «Синоп», где может быть расположено до четырех энергоблоков), в развивающиеся страны, в которых проживает около 5 млрд человек, в том числе в страны Юго-

Восточной Азии – Бангладеш (АЭС «Руппур»), Вьетнам (АЭС «Ниньтхуан -1»), Мьянма и другие, в арабские страны (Иордания и другие страны), в ЮАР и другие страны Африки, в Аргентину, Бразилию и другие страны Южной Америки.

Стратегия развития ядерной энергетики включает в себя также создание надежных мобильных и плавучих АЭС для энергообеспечения труднодоступных районов (всего по оценкам экспертов понадобится около 20 плавучих АЭС, первая на базе реактора КЛТ-40С мощностью 70 МВт должна быть построена в ближайшие годы). Одна плавучая АЭС способна обеспечить электроэнергией город с населением 200 тыс. человек. Использование такой АЭС позволит сберечь до 200 тыс. угля и 100 тыс. т мазута в год. Проект плавучей АЭС вызывает интерес в странах Юго-Восточной Азии, прежде всего в Китае.

К новым проектам относятся блочно-транспортная атомная станция «Уни-терм» и теплофикационная установка РУТА, предназначенная также и для ядерного опреснения морской воды.

Россия обладает самым большим опытом создания и эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах. В коммерческой эксплуатации находится реактор БН-600. В сентябре 2014 года должен состояться энергопуск реактора БН-800. Пуск реактора БН-800 будет означать начало работ по замыканию ядерного топливного цикла и развитию технологии рециклирования ядерного топлива без разделения изотопов. Над созданием такого реактора сейчас работают также США, Япония, Франция, Китай и Индия. Топливом в энергетических блоках АЭС является высокообогащенный уран. США, Индия и некоторые другие страны в настоящее время ведут работы по созданию ториевого реактора.

В соответствии с планами, заложенными в Энергетическую стратегию, Россия (ГК «Росатом») продолжит проектирование реакторов ВВЭР. По проекту «АЭС-2006» разработан типовой реактор ВВЭР-1200, который предполагается установить на Нововоронежской, Ленинградской и Балтийской площадках, и проект «ВВЭР-2010», который будет базироваться на новом реакторе повышенной мощности ВВЭР-1500.

Россия в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Ядерные энерготехнологии нового поколения» разрабатывает реактор четвертого поколения СВБР-100, мощностью 100 МВт. Это будет модульный энергоблок на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем, цилиндрической конструкции без внешних трубопроводов и арматуры. Первый реактор планируется построить в г. Дмитровграде.

Программа Развития российской ядерной энергетики нацелена на увеличение ее доли в общем объеме выработки электроэнергии в стране к 2030 году до 25 %.

Россией (ГК «Росатом») были построены и успешно введены в эксплуатацию блок-1 и блок-2 Тяньваньской АЭС с ловушками расплава. В 2011 году состоялся энергопуск Бушерской АЭС в Иране, также построенной ГК «Росатом».

Индия в 2011 году введет в эксплуатацию энергоблок «Кайга-4». Франция (корпорация Areva) возлагает большие надежды на новый реактор EPR (европейский реактор под давлением) электрической мощностью 1600 МВт. Этот реактор позиционируется как реактор третьего поколения. Первый энергоблок с реактором EPR строится в Финляндии на АЭС «Олкилуото», второй возводится в самой Франции на площадке «Фламанвиль». Имеется договоренность о строительстве двух реакторов этого типа в Китае. На строительство нового энергоблока АЭС «Олкилуото» приглашены GE Hitachi Nuclear Energy (GEH), представляющая реактор Economic Simplified Boiling Reactor - ESBWR, французская Areva, южнокорейская Korea Hydro & Nuclear Power и японские корпорации Mitsubishi Heavy Industries и Toshiba. На строительство АЭС «Ханхикиви» на севере Финляндии поступили предложения от французской Areva с реактором EPR и японской Toshiba с реактором ABWR.

Китай в настоящее время строит 26 ядерных энергоблоков. В 2012 году в стране будет введен в эксплуатацию энергоблок «Циньшань-2-4». Китай планирует в районе города Пуцянь провинции Фуцзянь построить энергоблок с реактором с водой

под давлением АСР-100. Мощность реактора третьего поколения – 100-150 МВт. Начало строительства 2013 год.

Планы США по развитию ядерной энергетики предусматривают строительство 19 энергоблоков АЭС. США строит энергоблоки №3 и №4 АЭС «Вогл» с реакторами AP-1000 разработки Westinghouse. Пуск блока №3 – апрель 2016 года, блока №4 – апрель 2017 года. Кроме того в США подано 10 заявок на строительство новых ядерных энергоблоков.

В Великобритании разработана перспективная программа сооружения 18 новых блоков до 2025 года на восьми возможных площадках - на площадках «Олдбери» (два блока с EPR или три с АЗ-1000), «Уилфа» (три с EPR или четыре с AP-1000), «Хинклей-Пойнт» (два с EPR), АЭС «Сайзуэлл» (два блока с EPR) и других.

Во Франции ведется строительство третьего блока АЭС «Флаанвиль», запланировано строительство третьего блока АЭС «Панли». На АЭС будут установлены реакторы EPR.

В настоящее время Словакия ведет строительство двух блоков на АЭС «Моховице» и планирует строительство по одному блоку на АЭС «Богунце» и площадке Кецеровце. Чехия планирует достроить третий и четвертый энергоблоки АЭС «Темелин», в Болгарии обсуждается план реализации проекта АЭС «Белене», Венгрия планирует построить 2 новых блока на АЭС «Пакш», Польша планирует построить две АЭС суммарной мощностью 6 ГВт. В Литве запланировано строительство Висагинской АЭС, а в Румынии – двух блоков на площадке АЭС «Чернавода».

Южная Корея планирует в ближайшие годы построить 4 энергоблока АЭС с реакторами типа APR.

ОАЭ (в Браке) и Вьетнам планируют построить АЭС на основе реактора APR-1400 южнокорейского дизайна. Саудовская Аравия объявила о планах строительства к 2030 году 16 энергоблоков АЭС. Первую АЭС она планирует построить к 2020 году.

Для покрытия недостающих энергетических мощностей во многих странах, эксплуатирующих АЭС, рассматриваются рекомендации о продлении сроков службы действующих АЭС сверх проектных до 60 лет.

В рамках международных программ INPRO, GENERATION-IV (GIF-IV) и других Россия, США, Западная Европа и Япония проводят исследования по прогнозу развития ядерной и водородной энергетики. В состав ядерного консорциума CIF по созданию ядерных реакторов четвертого поколения входят 10 стран – Аргентина, Бразилия, Великобритания, Канада, Республика Корея, США, Франция, Швейцария, ЮАР и Япония, а также Евроатом. Россия и США ставят перед собой общие задачи разработки новых технологий реакторов 4-го поколения, переработки отходов и таких инновационных решений, как «быстрые» и высокотемпературные реакторы, позволяющие уничтожить накопленные отходы и оружейные материалы и обеспечивающие возможность перехода к водородной энергетике.

Из СМИ известно, что Билл Гейтс ведет переговоры с Китайской национальной атомной корпорацией (CNNC) о разработке атомного реактора четвертого поколения. Разрабатывать реактор будут компания Terra Power, финансируемая Гейтсом, и CNNC. Тип разрабатываемого реактора – TWR (Traveling Wave Reactor) – реактор с двигающейся или перемещающейся волной. Основные требования к реактору – низкая стоимость, высокая безопасность и минимум радиоактивных отходов.

Франция (компания EdF) создает силы быстрого реагирования на ядерные инциденты – подразделение Nuclear Rapid Action Force. FARN будет способно справиться с тяжелыми авариями сразу на двух энергоблоках, а в будущем - на четырех энергоблоках, размещенных на одной площадке.

В апреле 2012 года в Сеуле прошло знаковое после аварии на АЭС «Фукусима-1» мероприятие – второй саммит по ядерной безопасности Seoul Nuclear Security Summit.

Первый саммит состоялся в 2010 году в США в городе Вашингтоне. В саммите приняли участие руководители и представители 58 стран и международных организаций. Они обсудили пути усиления режима нераспространения и мер безопасности АЭС. Была поддержана идея о наделении МАГАТЭ статусом ключевой организации в процессе международного сотрудничества в ядерной сфере. Следующий саммит состоится в 2014 году в Нидерландах.

Развитые страны в течение нескольких десятков лет (СССР с 1951 года) проводят эксперименты по изучению **возможности получения электроэнергии на установках управляемого термоядерного синтеза**, на которых используется та же реакция, что и на Солнце [2]. В настоящее время на этих установках отрабатывается техническая реализуемость использования энергии синтеза легких ядер водорода или трития, запасов которых на Земле хватит на долгие годы. Россия проводит эксперименты на токамаках Т-10, Т-11М, Т-15, «Туман-3М», «Глобус-М», стеллаторе «Ливень-М» и других установках, Европа – на крупнейшем токамаке JET, США – на установке D-III-D, ФРГ – на установке ASDEX, Швейцария – на установке TCV, Япония – на установке JT60. Перспективной установкой в России является модернизированный токамак Е-15М.

Основные надежды ученые возлагают на успешную реализацию проекта по созданию Международного Термоядерного Экспериментального Реактора ИТЭР (ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor). В конце ноября 2006 года было принято решение о создании Международной организации по проекту ИТЭР и строительстве экспериментального реактора во Франции на территории ядерного центра Кадараш. Стоимость проекта около 10 млрд. евро, срок строительства – около 8 лет. В число стран, которые принимают участие в сооружении реактора, вошли Россия, страны ЕС, Япония, США, Китай, Республика Корея и Индия.

Целью международного проекта является создание демонстрационной установки управляемого термоядерного синтеза, достижение 500 МВт термоядерной мощности ( $Q = 10$ ) в разряде длительностью 500 с, осуществление стационарного (3000 с) режима с  $Q = 5$  и др. Температура плазмы в установке будет достигать 150 млн. градусов.

Координация проекта в России возложена на Агентство ИТЭР (ГК «Росатом»). Завершение строительства реактора намечено на 2020 год, а вывод его на проектную мощность намечен на 2027 год.

В ИТЭР предполагается осуществить реакцию – синтез гелия из дейтерий-тритиевой смеси. Ее недостаток – высокая радиоактивность трития. Поэтому в настоящее время некоторые специалисты рассматривают как основу будущих термоядерных реакторов второго поколения реакцию синтеза без трития, например с участием гелия-3, которая практически радиационно безопасна. Поскольку легкого стабильного изотопа гелия-3 на Земле мало, а годовая его потребность может составлять 100 т, предлагается получать гелий-3 из рыхлого слоя на поверхности Луны – реголита и затем доставлять его с Луны на Землю.

Следующий шаг после ИТЭР – реактор ДЕМО-С, который должен стать прототипом промышленной электростанции. Новая инициатива ЕС Fast Track – путь ускорения внедрения термоядерной энергетики в практику на основе, созданной в рамках проекта ИТЭР структуры международной кооперации.

Россия (ГК «Росатом») предполагает осуществить проект создания новейшего термоядерного реактора «Игнитор» с сильными магнитными полями. Установка строится в Италии. Затем она будет встроена в готовую инфраструктуру в подмосковном Троицке. Завершение строительства и тестирование запланированы на 2016-2017 годы.

США, Россия и Франция проводят работы в области лазерного термоядерного синтеза. В США такая установка (NIF) уже имеется, во Франции она строится. Решения о создании лазерной установки приняты в России и Китае.

Достоинства термоядерной энергетики – это пассивная безопасность, возможность размещения в густонаселенных районах, обеспечение выдержки и захоронения большей части материалов непосредственно на площадке, повышенная безопасность в отношении террористических актов и другие.

С целью улучшения состояния окружающей среды, уменьшения зависимости экономики стран Европы и США от ископаемых углеводородов и, в первую очередь, от таких энергоносителей, как нефть и газ, страны Евросоюза и США в 2003 году сделали совместное заявление о глобальном сотрудничестве по ускорению развития водородной энергетики и водородного транспорта, при использовании которых в атмосферу не будет выделяться углекислый газ. Запасы водорода в природе неисчерпаемы и при его сжигании в атмосферу выбрасывается только водяной пар. Варианты атомно-водородной энергетики активно разрабатывались в СССР в 80-е годы XX века.

Россия выполняет все свои обязательства, вытекающие из Конвенции о ядерной безопасности, а также выполняет Федеральные целевые программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2016 года», «Энергоэффективная экономика» и «Ядерная и радиационная безопасность». Государства объединяют усилия с целью повышения безопасности и надежности ядерных установок, соблюдения регламента эксплуатации.

Основными задачами обеспечения ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) России являются: обеспечение максимальной безопасности эксплуатации АЭС и предприятий ядерного топливного цикла ГК «Росатом», обеспечение контроля сбросов и выбросов, обеспечение радиационной безопасности персонала объектов и населения, обеспечение безопасности при снятии с эксплуатации ядерных объектов ГК «Росатом», предотвращение, локализация и уменьшение последствий радиационных аварий.

Безопасность ядерной энергетики обеспечивается физическими принципами, заложенными при проектировании ядерного реактора, техническими средствами - автоматизированными системами контроля, управления и защиты, которые с помощью датчиков и детекторов обеспечивают безопасный режим работы АЭС или ядерной энергетической установки, а также обеспечением радиационного контроля персонала на АЭС и предприятиях ГК «Росатом», контроля радиационной обстановки на рабочих местах и территории радиационного объекта, контроля санитарно-защитной зоны.

Для вновь разрабатываемых реакторов АЭС нового поколения и маломощных реакторов для подвижных и плавучих АЭС необходима разработка новых АСУ ТП, новых интеллектуальных систем управления и защиты.

При этом необходимо учесть опыт ликвидации последствий аварий на ЧАЭС и на АЭС «Фукусима-1». Современной аппаратурой должны быть также оснащены система или подсистемы Единой Государственной Автоматизированной Системы контроля Радиационной обстановки (ЕГАСКРО), объекты и персонал МО, МЧС, Минздравсоцразвития, предприятия судостроительной и пищевой промышленности, соответствующие институты и установки РАН и другие [2, 6, 7].

Эту работу ГК «Росатом» целесообразно проводить в рамках выполнения Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ), утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 13 июля 2007 года № 444. Это позволит создавать современные системы управления и защиты, начинать их проектирование одновременно с проектированием ядерного реактора или другого энергетического объекта. Действовать придется в условиях спада мировой экономики [2].

Необходимо четко понимать и учитывать, что в случае возникновения третьей радиационной аварии после аварий на Чернобыльской АЭС и на АЭС «Фукусима-1», развитие ядерной атомной энергетики остановится во всем мире на многие годы [2].

Правила, Руководства, Рекомендации и Стандарты по обеспечению ядерной и радиационной безопасности выпускают МАГАТЭ, ИСО, Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) и Технический Комитет 45 (ТК 45) «Ядерное приборостроение» Международной электротехнической комиссии (МЭК) [8-10].

Прогноз МАГАТЭ по сооружению АЭС в мире к 2030 году от 70 до 350 энергоблоков. Россия, в лице ГК «Росатом», собирается построить до 2030 года 38 новых энергоблоков АЭС в стране (по 2 блока в год) и 28 энергоблоков за границей (по 21 блоку зарубежные контракты уже подписаны).

Авария на АЭС «Фукусима-1» привела в мире к более широкому **использованию альтернативных, особенно возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]**.

Как известно к возобновляемым источникам энергии относятся: солнечная энергия, энергия ветра, энергия падения воды (энергия водных струй), приливных вод. Условно к ним можно отнести подземное тепло, «зеленое» биотопливо, получаемое из пищевых продуктов, сельскохозяйственной продукции или в результате сельскохозяйственного производства.

Для сокращения выбросов парниковых газов сторонники альтернативных источников энергии предлагают шире использовать энергию Солнца, ветра, гидроэнергетику и подземного тепла. Однако каждому виду энергии присущи свои преимущества и недостатки [2].

**В угольных ТЭЦ** при сгорании органической части угля происходит концентрация природных радионуклидов в несгоревшей минеральной фракции – золе и шлаке. Количество летучей золы, выбрасываемой с угольных ТЭЦ, зависит от качества очистки выбросов от аэрозольных частиц и от зольности угля. Например, удельная активность радионуклидов добываемого угля в США находится в пределах от 3 до 520 Бк/кг для  $^{238}\text{U}$ , от 3 до 320 Бк/кг для  $^{232}\text{Th}$  и от 0,7 до 70 Бк/кг для  $^{40}\text{K}$ . Работающая ТЭЦ на донбасском угле (Украина) с электрической мощностью 1,2 ГВт при эффективности задержки золы 90 %, сжигая в год  $3,4 \cdot 10^6$  т угля с содержанием в нем 35-40 % золы, выбрасывает в атмосферу около  $1,3 \cdot 10^5$  т золы в год.

При удельной активности  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в золе 100 Бк/кг, ежегодно в атмосферу такая ТЭЦ выбрасывает по 10 ГБк  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  на 1 ГВт электроэнергии. Для сравнения АЭС с 6-тью реакторами ВВР-1000 при средней мощности 4,75 ГВт электроэнергии выбрасывает в атмосферу в год около 1 ГБк на 1 ГВт электроэнергии [3].

Это приводит к тому, что годовая доза облучения населения, проживающего вблизи ТЭЦ на угле, за счет выбросов составляет 2-5 мкЗв, а доза населения, проживающего в районе расположения АЭС, при нормальных условиях эксплуатации – 0,2 – 1 мкЗв [3,5].

В настоящее время в мире в результате применения технологий горизонтального бурения и гидроразрыва увеличилась добыча **сланцевого газа**. Пока эту технологию используют США и отдельные страны Европы, например Польша. В странах ЕС за последние 25 лет добыча сланцевого газа увеличилась на 25 %. Однако добыча сланцевого газа, помимо сложности технологии, также приводит к загрязнению воды и воздуха.

**При добыче нефти, газа, геотермальной воды** проводится бурение глубоких скважин, в которые опускают обсадные трубы. Поскольку в твердых породах земной коры содержатся природные радионуклиды  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , они и радиоактивные элементы семейств распада тория и урана (особенно радий) являются источником загрязнения труб, используемых при добыче и транспортировке углеводородного топлива, особенно нефти. Случай облучения целой семьи от труб, использовавшихся при добыче нефти, имел место в Мексике. Трубы были применены для ограждения земельного участка. За счет загрязнения труб природным радием каждый член семьи получил очень большую дозу - около 16 Гр. Но так как доза была пролонгирована на несколько лет, все члены семьи получили лучевую болезнь, но остались живы [1,2].

**Солнечная электроэнергетика** связана солнечной постоянной – количеством чистой энергии Солнца вне атмосферы Земли, которая равна  $1,36 \text{ кВт/м}^2$ . В результате космические гелиоэлектростанции могут вырабатывать значительное количество электроэнергии и, например, в СВЧ – диапазоне передавать ее на поверхность Земли. Проекты создания таких электростанций имеются в разных странах, в том числе США, России и Японии. Лучшие значения КПД фотоприемников достигают 40-60 %, КПД промышленно выпускаемых составляет 20 % [1,2].

Наземные солнечные электроустановки из-за зависимости освещенности от облачности целесообразно устанавливать в странах, расположенных в относительно южных широтах, например, вблизи так называемого солнечного экваториального пояса, где много солнечных дней и мало облачности. К таким странам в Европе, в первую очередь, относятся Португалия, Испания, Италия, Греция, Румыния, Болгария, южная территория России и Крым в Украине. Благоприятными условиями для использования солнечной энергии обладают страны Средней Азии, Монголии, Китая, Японии и страны других континентов. Кроме того, эффективность наземных солнечных установок зависит от времени суток и сезона.

Мощность всех электростанций в мире меньше мощности солнечного излучения, падающего на Землю, в несколько тысяч раз. При применении имеющихся в настоящее время технологий можно использовать до 1,5 % этой энергии, что в десятки раз превышает достигнутый уровень мирового энергопотребления.

Преобразование солнечной энергии в электроэнергию осуществляют термодинамическими методами (получением пара высокого давления) или прямым преобразованием с помощью фотоэлектрических панелей. Основное условие при использовании метода прямого преобразования солнечной энергии – создать фотоэлектрические преобразователи энергии солнечного излучения в электричество с КПД более 30 – 50 %.

Солнечные бортовые батареи космических аппаратов, как правило, вырабатывают энергию от единиц до десятков кВт. Около 50 % мирового производства фотоэлементов сосредоточено в Японии. Объем российского производства фотоэлементов позволяет вырабатывать около 2 МВт энергии в год.

В США солнечная энергия составляет примерно 1 % общего количества энергии, вырабатываемой в стране. В США работают 7 электростанций общей мощностью 354 МВт, использующие цилиндрические отражатели света и термодинамический метод преобразования. Проекты сооружения подобных установок имеются в странах солнечного пояса (Мексика, Египет и др.). Португалия построила солнечную электростанцию мощностью 24 МВт, с возможностью ее увеличения до 60 МВт.

Суммарная мощность всех установленных в мире фотоэлектрических преобразователей превысила 1500 МВт. В мире стала интенсивно развиваться бытовая, так называемая «крышная» фотоэлектрическая энергетика. Панели кремниевых солнечных батарей на крышах домов обеспечивают все энергетические потребности жителей этих домов. Например, в США проводились работы по программе «Миллион солнечных крыш», в Германии и Японии – по программе «Сто тысяч солнечных крыш», в Монголии - «Сто тысяч солнечных юрт».

Специализированные крупные гелиоэлектростанции вырабатывают около 100 МВт в год. Одна из крупных – мощностью 5 МВт построена в 2004 году около Лейпцига (Германия). Она состоит из 33,5 тыс. фотоэлементов, установленных на площади 16 га. В России гелиоустановки имеются в южных районах страны. Например, в городе Сочи гелиоустановки позволяют обеспечить теплом дома, сделав их независимыми от коммунальных служб. Окупаемость таких установок около 5 лет. Для обеспечения солнечной электроэнергией всей России зеркала и преобразователи должны занять площадь, равную территории Москвы.

В Австралии компанией Green&Gold Energy была создана сравнительно недорогая солнечная установка Sunball, которая может обеспечить энергией загородные дома.

Пока электроэнергия, получаемая с помощью солнечных электростанций, обходится в 5 раз дороже атомной.

Для **ветряных энергоустановок (ВЭУ)** хорошая отдача мощности осуществляется при скорости ветра более 5 м/с. В Европейской части России скорости ветра более 3 м/с наблюдаются на 12,5 % территории. Однако для районов Крайнего Севера, где присутствуют сильные ветры и имеется ограниченный доступ к традиционным энергоресурсам, применение ВЭУ может обеспечить заметную долю альтернативной энергии в энергобалансе страны.

В настоящее время во многих странах существуют сельские дома, электроснабжение которых обеспечивается ветроэнергетическими установками. Ветровая энергетика является лидером среди возобновляемых источников энергии. В мире с помощью ветровой энергии производится около 1 % электроэнергии (75 тыс. МВт). Крупные парки ветряных установок расположены в Германии. В России этот вид энергетики составляет примерно 0,01 % в общем балансе. В Калмыкии в 1995 году построен блок мощностью 1 МВт. В Калининградской области сооружается первый российский ветропарк.

Лидером энергоустановок на основе ВЭУ в последние годы стал Китай. В 2010 году Китай ввел в эксплуатацию 18,9 ГВт новых мощностей ветряных электростанций и занял первое место в мире по ветроэнергетике, опередив США и Германию. Ветроэнергетические установки строят Великобритания, Испания, Индия, Польша, Португалия, Нидерланды, Украина и другие страны. Мощность эксплуатируемых установок должна вырасти с нынешних 59 тыс. мегаватт до примерно 210 тыс. мегаватт к 2014 году.

Поскольку выяснилось, что ветряки, расположенные в зоне фермерских хозяйств, вызывают стрессы у домашних животных и угрожают перелетным птицам, которые погибают от столкновения с лопастями ветряков, строительство ветроэнергетических установок стали переносить в море при удалении от берега до 50 км. В Европе строительство ветроэнергетических установок предполагается сконцентрировать вблизи побережий Северного и Балтийского морей.

Имеются данные о том, что крупные ветровые электростанции, состоящие из сотен «ветряков», могут оказывать небольшое, но реальное влияние на климат окрестностей, повышая температуру воздуха на 0,7 °С и увеличивая испарение влаги из почвы вокруг ветроэлектростанции.

России, имеющей много больших рек, следует поднять степень освоенности **гидропотенциала** с учетом минимизации негативного воздействия на окружающую среду за счет уменьшения площади затопления под ГЭС и применения современных технологий. В Европе степень освоенности гидропотенциала достигает 75 %, в США – 70 %, а в Японии – 95 %. В России, например на Дальнем Востоке, при остром дефиците электроэнергии, используется меньше 3 % гидроэнергетических ресурсов. Гидроэлектростанции нарушают течение рек, приводят к ухудшению условий размножения рыбы. Водохранилища занимают большую территорию, иногда с плодородной почвой. Они также приводят к подтоплению окружающей территории и изменению климата ближайших районов.

Во многих странах в последнее время увеличилось число малых ГЭС, мощность которых составляет от 100 кВт до 10 МВт. Суммарная мощность малых ГЭС в мире превышает 70 ГВт. В Китае мощность малых ГЭС составляет 13 ГВт, в США, Канаде, Швеции, Испании и Франции она превышает 1 ГВт. В России более 2,5 млн. малых рек, энергетический потенциал которых огромен.

В ряде стран для производства электроэнергии используются **приливные электростанции (ПЭС)**. Сейчас в мире работают около 10 приливных станций. Они производят самую дешевую в мире электроэнергию. Во Франции в устье реки Ранс, впадаю-



щей в Ла-Манш, действует ПЭС, мощность которой в настоящее время составляет 240 МВт. В России на побережье Баренцева моря действует Кислогубская ПЭС мощностью 400 кВт, а также действуют Мезенская ПЭС в Белом море мощностью 10 МВт и Пенжинская ПЭС в Охотском море мощностью до 90 тыс. МВт. В США во Флоридском проливе около острова Марафон сооружена станция мощностью 136 МВт, которая использует энергию течения Гольфстрим. По оценкам специалистов, использование приливных станций может покрыть 1-20 % потребностей в электроэнергии.

В Португалии построена **волновая энергетическая установка**, в которой действуют 30 блоков. Однако пока волновая энергия обходится в 3 раза дороже ветровой энергии.

Неограниченным источником энергии является **подземное тепло**. От поверхности Земли к центру температура возрастает и в центре она составляет 4000 – 5000 °С. Вертикальный градиент температуры горных пород составляет 2-3 °С на 100 м. Глубинное тепло обусловлено первичным нагревом Земли и радиоактивным распадом природных нуклидов, находящихся в недрах Земли.

Различают петрогеотермальные (сухие горные породы, нагретые до +350 °С и более) и гидрогеотермальные (термальные воды) ресурсы. В местах вулканизма на глубине нескольких сотен метров залегают горные породы, нагретые до +100 °С и более, либо могут находиться запасы такой же горячей воды или пароводяной смеси. Эти источники тепла используют при создании надежных, дешевых и экологически чистых тепло- и электростанций, геотермальных электростанций и геотермальных систем теплоснабжения.

Тепловая энергия используется более чем в 60 странах мира. В настоящее время геотермальные установки тепловой и электрической энергии действуют в Италии, Мексике, Новой Зеландии, долине гейзеров США, Исландии, Франции, России, Японии и в других странах. В настоящее время суммарная электрическая мощность действующих в мире геотермальных электростанций составляет около 10 ГВт, а тепловая мощность геотермальных систем теплоснабжения – около 17 ГВт. За последние 4 года рост использования геотермальной энергии для производства электричества и прямого теплового потребления составил 4 % в год.

В России большими геотермальными ресурсами обладают Камчатка, Чукотка, Курильские острова, Приморский край, Западная Сибирь, Северный Кавказ, Краснодарский и Ставропольский края, Калининградская область. В России на Камчатке работают три геотермальные станции: Паужетская мощностью 11 МВт, Верхнемутновская мощностью 12 МВт и Мутновская мощностью 50 МВт. На Курильских островах сооружены геотермальные станции теплоснабжения.

В мае 2006 года в Швейцарии начались работы по «Базельскому проекту» - бурению в районе города Базель сверхглубинной скважины для геотермальной установки. Всего должны быть пробурены 3 скважины на глубину 5000 м, где расположены сухие кристаллические породы, температура которых достигает +200 °С. Вода, нагретая в пустотах породы, будет поступать обратно в установку. Мощность установки 20 МВт. Она позволит обеспечить электричеством до 3 тыс. домов. Проект стал иметь смысл, когда углеводородное тепло стало дорогим [1,2].

В России солнечные фотоэлектрические преобразователи, приливные и геотермальные электростанции и другие «экзотические» источники электроэнергии вырабатывают всего 1-3 % общей мощности и не являются определяющими. Большинство возобновляемых источников энергии имеет недостаток – их энергия поступает непостоянно.

Сегодня возобновляемые источники энергии составляют около 14 % мирового энергетического производства, в том числе 11 % - за счет биомассы, запасы которой колоссальны. Использование возобновляемых источников энергии является одним из приоритетов «Энергетической стратегии России - 2030». В России согласно Энергетической стратегии альтернативные источники энергии к 2020 году составят как минимум 6-7 % вместо 0,5 % в 2011 году.

Как уже отмечалось, для России использование возобновляемых источников энергии может оказаться экономически выгодным на территориях, на которых используется дорогое привозное топливо и где нет централизованного энергоснабжения.

В настоящее время около 70 % вводимых в мире генерирующих мощностей приходится на **парогазовые и газотурбинные станции**. В парогазовой установке (ПГУ) тепловая энергия преобразуется в электрическую энергию не один раз, как в паросиловой установке, а дважды: сначала в камере сгорания газовой турбины, а затем во второй турбине, пар для которой генерируется при охлаждении частично отработавших в первом контуре продуктов. Общий КПД ПГУ достигает 60 %, а в паросиловых он не достигает 40 %. Газовые турбины просты и компактны, их удельная стоимость в 2-3 раза меньше паросиловых установок. ПГУ дают возможность сократить потребление газа на 30-40 %. В США ежегодно вводится парогазовых установок на 40-50 млн. кВт. Они вводятся в Китае, Индии, Германии, Англии. В России действуют несколько ТЭЦ с ПГУ: Северо-Западная в Санкт-Петербурге, Тюменская ТЭЦ-1 с ПГУ-220, Сочинская ТЭС, мощность которой составляет 75 МВт. Эти станции построены с применением иностранного оборудования. В Ивановской области в городе Комсомольск построена ТЭС, на которой установлены две ПГУ-100 российского производства мощностью по 700 МВт. Вводятся в строй Новгородская ПГУ-210, Вологодская ПГУ-110 и Ярославская ПГУ мощностью 450 МВт. Применение находят и топливные элементы с непосредственным преобразованием химической энергии в электрическую с КПД от 40 до 70 %.

Программа «Энергетическая стратегия России - 2030» уделяет особое внимание развитию малой энергетики. Она основывается на использовании малых месторождений подземного топлива, в том числе торфа, энергии малых рек, переработке твердых бытовых отходов, отходов агропромышленных и лесопромышленных комплексов.

Конечным продуктом переработки отходов агропромышленного комплекса - биотоплива является горючий биогаз. Для получения биогаза используют отходы сельскохозяйственного производства и пищевые отходы, выбрасываемые пищевые продукты, объем которых достигает 10 % от объема потребляемых пищевых продуктов, навоз и др. В Европе для получения биогаза уже используется промышленная анаэробная переработка пищевых отходов. Эта технология начала использоваться и в странах Азии.

Альтернативная энергетика на основе биотоплива – этанола, получаемого из сахарного тростника (основные производители США, Бразилия, Аргентина, Евросоюз, Китай и Канада) связана с погодой, от которой зависит урожай сырья.

Для России и многих других стран задача состоит в том, чтобы, используя меньшее количество энергии, получать более высокий результат. Для этого необходимо добиться увеличения КПД преобразования энергии, снижения прямых потерь на всех этапах, осуществить переход на менее энергоемкие технологии, использовать более эффективное оборудование при потреблении энергии.

### Заключение

В глобальном масштабе обеспечение энергетической безопасности может быть связано с обеспечением мировой энергетики углеводородами по разумным ценам, диверсификацией энергоснабжения за счет новых источников энергии, повышением эффективности и безопасности существующей энергетики, в том числе ядерной, энергосбережением и переходом в перспективе к экологически чистой энергетике.

В мире до сих пор около 2,5 млрд. людей не имеют возможности пользоваться электричеством. Поэтому остро встает проблема использования усовершенствованных и альтернативных источников энергии. В конце апреля 2012 года в Брюсселе состоялось заседание стран ЕС по обеспечению развивающихся стран бытовым электричеством с использованием возобновляемых источников энергии.

По оценкам экспертов потребность в энергии будет постоянно расти и к 2030 году она может вырасти на 25-30 %. Промышленные объекты увеличат расход энергии на 30-35 %. Спрос на газ вырастет на 55-60 %. Емкость энергетического рынка за ближайшие 20 лет, несмотря на планы Европы отказаться от ядерной энергетики после аварии на АЭС «Фукусима-1», вырастет более чем на 60 %.

По оценкам экспертов МАГАТЭ мировая потребность в ядерных реакторах только мощностью 100-400 МВт до 2040 года составит от 500 до 1000 блоков. Россия в соответствии с программой строительства новых ядерных энергоблоков предполагает построить до 2030 года 38 новых блоков АЭС в стране и 28 (на 21 блок контракты есть) за рубежом. Потребность в альтернативных источниках энергии будет также постоянно увеличиваться. Специалистам в области ядерной энергетики придется участвовать в создании и реализации проектов ветровых, космических и наземных солнечных объектов энергетики, а также электростанций с использованием горячих подземных вод.

### Литература

1. Поленов Б.В. Защита жизни и здоровья человека в XXI веке. Восемь основных источников опасности для человечества / Б.В.Поленов.- М.: ООО «Группа ИДТ». - 2008. 720 с.: ил., табл.
2. Поленов Б.В. О будущем ядерной энергетики и ядерного приборостроения. Ядерные информационно-измерительные технологии. №1(41). - 2012, с.77-90.
3. Поленов Б.В. Дозиметрические приборы для населения. - М.: Энергоатомиздат. - 1991.- 64 с.
4. Огородников Б.И. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986-2006 гг.: монография / Б.И. Огородников, Э.М. Пазухин, А.А. Ключников; НАН Украины. Ин-т проблем безопасности АЭС.- Чернобыль (Киев. обл.): Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 456 с.
5. Кутьков В.А., Поленов Б.В., Черкашин В.А. Радиационная безопасность и радиационный контроль. Учебное пособие. Обнинск: ФГОУ «ГЦИПК». - 2007, 1 т. - 252 с., 2 т. - 340 с.
6. Дмитриев Е., Иванов А., Печкуров А., Шершаков В. ЕГАСКРО: Современное состояние и перспектива развития. Бюллетень по атомной энергии №1. - 2002., с. 31-34.
7. Сборник «Методическое обеспечение радиационного контроля на предприятии», т. 1, Минатом, Минздрав России, ФУ «Медбиоэкстрем», М. - 2001, 183 с.
8. МАГАТЭ. Общее Руководство по безопасности SSG-2 «Критерии для использования в обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиационной аварийной ситуации», Вена. - 2011.
9. Публикация 103 МКРЗ Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ). Пер. с англ./под общей ред. М.Ф.Киселева и Н.К.Шандалы. М. : Изд. ООО ПКФ «Алана». - 2009. - 312 с.
10. 45A/790/CDV IEC 61513 Ed.2: Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems.

### Сведения об авторе

**Поленов Борис Владимирович** - директор ЗАО «СНИИП-АВЕРС», Лауреат Государственной премии, эксперт Технического комитета 45 «Ядерное приборостроение» Международной электротехнической комиссии (МЭК), обладатель «Награды 1906» МЭК.

УДК 351.86

## О МНОГОЛЕТНЕМ ОПЫТЕ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ БЕЗОПАСНОСТИ

Кандидат техн. наук *Н.П. Блудчий*

Академия ГПС МЧС России

*Проведён анализ опыта организации двадцати ежегодных научно-технических конференций в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. Дана сравнительная оценка технологий публикации докладов на этих и других конференциях.*

**Ключевые слова:** безопасность, система, конференция.

## ABOUT MULTI YEAR EXPERIENCE OF ORGANIZATION OF SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCES ON SECURITY PROBLEMS

Ph. D. (Tech) *N.P. Bludchiy*

State Fire Academy of Emercom of Russia

*The analysis of the experience of organization of twenty annual Scientific-Technical Conferences in State Fire Academy of Emercom of Russia. A comparative evaluation of technologies for the publication of reports on these and other conferences.*

**Key words:** security, system, conference.

В соответствии с Комплексным планом основных мероприятий МЧС России на 2011 г., в Академии ГПС была проведена **юбилейная 20-я ежегодная** научно-техническая конференция "Системы безопасности – 2011".

На этих конференциях было обсуждено более 2-х тыс. докладов представителей НИИ, вузов, предприятий и организаций России, Абхазии, Беларуси, Болгарии, Венгрии, Вьетнама, Германии, Греции, Казахстана, Литвы, Монголии, Польши, США, Узбекистана, Украины и других стран.

Конференции проводились в рамках Международного форума информатизации (МФИ) под эгидой Международной академии информатизации (МАИ) – члена Экономического и социального совета (ЭКОСОС) Организации объединённых наций.

Ежегодное проведение конференций в течение 20 лет является большим успехом в научно-технической деятельности нашего вуза. Опыт проведения этих конференций показал их практическую полезность для специалистов по созданию, автоматизации и интеграции различных систем безопасности; информационным, методическим, техническим, организационным, образовательным, социально-психологическим и другим проблемам предотвращения и ликвидации пожаров, аварий, катастроф и других опасных событий, порождающих чрезвычайные ситуации.

Организация и ежегодное проведение этих конференций, по существу, положили **начало новому этапу научного роста нашего вуза**, расширению его научного сотрудничества с другими отечественными и зарубежными организациями, инициировали активное участие вуза в российских и международных форумах и выставках по проблемам безопасности, повысили его научный престиж и в немалой степени способствовали повышению его статуса от школы (Высшая инженерная пожарно-

техническая школа) до института (Московский институт пожарной безопасности), а затем до академии (Академия Государственной противопожарной службы).

Расширенные материалы этих конференций явились *базой* создания в Академии ГПС в 2005 г. *научного интернет-журнала* "Технологии техносферной безопасности" (первого и пока единственного электронного журнала в МЧС России), включённого в 2010 г. решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертационных работ на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (<http://ipb.mos.ru/ttb>). В этом журнале за 7 лет опубликовано около 500 научных статей.

Многолетнее участие сотрудников Академии в этих конференциях безусловно способствовало повышению их профессионального уровня, качества учебного процесса, научно-исследовательских, а также диссертационных работ.

Неослабевающий в течение 2-х десятилетий интерес специалистов российских и ряда зарубежных организаций к этим конференциям свидетельствует об актуальности их тематики, хорошем уровне проведения, авторитете Академии ГПС как организатора конференций. Этот интерес обусловлен следующим.

1. *Постоянным расширением тематики рассматриваемых проблем безопасности.* Основной тематикой конференций в первые годы были проблемы *информатизации систем безопасности*, что соответствовало тематике МФИ, и было порождено бурным в те годы внедрением цифровых информационных технологий во все сферы человеческой деятельности.

Но поскольку проблемы информатизации систем безопасности теснейшим образом связаны с техническими, методическими, организационными и другими проблемами безопасности, то тематика конференций с каждым годом расширялась.

Кроме того, если вначале, в соответствии с противопожарным профилем нашего вуза, основное внимание на конференциях уделялось проблемам *пожарной безопасности*, то со временем начали рассматривать также проблемы *безопасности от радиационного и химического заражения*, зачастую порождаемых пожарами и сопутствующими им объёмными газо-, пыле- и паровоздушными взрывами, а затем и проблемы *комплексной безопасности, интегрированных систем безопасности и жизнеобеспечения объектов* на единой информационной и программно-технической базе.

Правильность рассмотрения на конференциях широкого круга проблем безопасности стала особенно очевидной в последние годы после перехода Академии ГПС из состава МВД России под юрисдикцию МЧС России и расширения учебной и научно-исследовательской тематики за противопожарные рамки.

Слушатели Академии начали изучать информационные технологии, средства и методы *предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций* различного характера и спасения людей; системы и технологии *мониторинга зданий и сооружений*; системы *космического и авиационного мониторинга территорий и объектов*; автоматизированную *геоинформационную систему*, функционирующую в интересах оперативных подразделений пожарной охраны населённых пунктов; *многофункциональные системы мониторинга и управления* силами и средствами МЧС России.

2. *Публикацией отредактированных докладов*, что является главным преимуществом наших конференций над другими, а также типографским изданием докладов *к началу конференций*.

Ниже хотелось бы несколько подробнее пояснить проблемы публикации докладов на конференциях. Как известно, основной целью любой конференции является *информирование* как можно большего числа *заинтересованных специалистов* и

общественности о новых теоретических результатах, научно-технических разработках, практическом опыте, идеях, концепциях, обзорах и анализе материалов по рассматриваемой тематике.

Поэтому *главная ценность конференций* – это *опубликованные доклады* в типографских изданиях и(или) Интернете.

Отбирая доклады для включения в программы проводимых в Академии конференций по проблемам безопасности, оргкомитет исходил из того, что обнародования (публикации) заслуживает каждый доклад, который содержит даже крупную полезную информацию, учёт которой поможет в будущем спасти хотя бы одну человеческую жизнь.

В начале 20-летнего пути этих конференций решался вопрос, какую технологию публикации докладов (из 2-х возможных) использовать:

*1-я технология* публикации – *контроль содержания* полученных докладов, их *рецензирование и отбор* с учётом актуальности и новизны результатов, в случае необходимости – научное (содержательное) и литературное *редактирование, корректура*. Эту технологию можно назвать *"журнальной"*, поскольку во всём мире именно по этой технологии готовятся публикации в *научных* журналах (в том числе в Интернете) *для использования широкой научной общественностью*;

*2-я технология* – это публикация *в авторской редакции*, даже без прочтения и контроля содержания (в буквальном смысле 1:1), без рецензирования и отбора. Эта технология стала в последние годы почти нормой и при проведении научно-технических конференций по проблемам безопасности.

Организационный комитет проводимых в Академии ГПС конференций по проблемам безопасности уже со 2-й конференции (1993 г.) отдал предпочтение *"журнальной"* технологии, испытанной многолетней мировой практикой, поскольку даже самое беглое сравнение двух технологий публикации докладов показывает *очевидное и главное преимущество 1-й технологии* – *более высокое качество отредактированных и откорректированных текстов*.

Анализ более 2 тыс. докладов, представленных за 20 лет в оргкомитет проводимых в Академии ГПС конференций, а также опубликованных в материалах других конференций по проблемам безопасности, показал, что практику публикации докладов в авторской редакции нельзя считать удачной, прежде всего, потому, что далеко *не все докладчики*, включая и учёных, *обладают необходимыми* (для публикации докладов в авторской редакции) *уровнями* профессиональных знаний; мастерства литературного изложения докладов; знаний правил русской грамматики, орфографии, пунктуации и толкования многих слов; а также владения компьютерными технологиями формирования печатных текстов и поэтому *допускают огромное количество различного рода ошибок*. Это можно объяснить следующим.

Во-первых, надо учитывать ту простую истину, что люди от рождения неодинаковы по способностям, кроме того, у них разные возможности получения образования, поэтому они имеют *различные уровни* профессиональных знаний и умений.

Во-вторых, даже высокая профессиональная грамотность далеко не у каждого подкреплена такой же высокой способностью *письменного изложения своих результатов*, владением правилами русского литературного языка (особенно это относится к нерусскоязычным авторам, представленные доклады которых зачастую надо "переводить" на русский язык), а также владением компьютерными технологиями.

В-третьих, *значительная часть докладчиков* – адъюнктов, аспирантов, слушателей, молодых специалистов не имеют достаточного опыта ни профессиональной деятельности, ни публикации результатов своих работ.

В-четвёртых, катастрофическое *снижение уровня общей грамотности* на постсоветском пространстве всё более снижает качество любых публикаций.

Вследствие *недостаточной профессиональной грамотности* некоторые докладчики допускали *ошибки содержательного характера*. Например:

- предлагалось в текст Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ вместо фразы *"борьба с пожаром"* записать "тушение пожара", что является грубой принципиальной ошибкой и абсолютно неприемлемо, поскольку борьба с пожаром, кроме его *тушения*, включает *предотвращение* пожара (в том числе пожарный надзор), *сигнализацию* о пожаре, *противодымную* защиту, *оповещение* и *эвакуацию* людей, *аварийно-спасательные* работы и *ликвидацию последствий пожара*;

- информацию в системах безопасности отдельных объектов, *редчайших событиях* (пожарах и взрывах) предлагалось обрабатывать с применением теории *массового обслуживания*, в основе которой лежат несовместимые с редкими событиями категории – *"очередь"* и *"время ожидания"*;

- в опубликованных материалах одной из конференций автор доклада "скромно" назвал полученную им формулу *новым законом физики*, хотя статус закона физики (на основании тщательной экспертизы) могут устанавливать только соответствующие компетентные организации (в нашей стране – это Российская академия естественных наук – РАЕН), но не сами авторы новых формул.

За многие годы проведения в Академии конференций по системам безопасности до 10 % представленных докладов не были включены в программы конференций в связи с наличием различного рода ошибочных положений, необоснованных предложений, а также отсутствием актуальности или новизны излагаемых материалов.

О *терминологических ошибках* автор настоящей статьи уже неоднократно высказывал своё мнение [1-3]. Однако еще о двух терминологических ошибках хотелось бы сделать небольшие замечания.

Существует весьма распространённая принципиально неверная запись – *"модель оценки"*: "модель" означает *аналог* какого-либо процесса, события, явления, обстановки, а авторы под "моделью оценки" совершенно необоснованно называют *компьютерную программу* для проведения каких-то вычислений, оценки чего-то. Поэтому, если кому-то очень хочется программу какого-то вычисления назвать модным словом "модель", то надо, хотя бы для приличия писать "модель *для* оценки...", пояснив при этом, какое событие (явление и т.д.) моделируется, если действительно имеет место его математическое описание.

Принципиально неверными являются записи об *управлении* безопасностью, эффективностью, надёжностью и другими качественными или количественными *характеристиками*, поскольку управлять (изменять состояние) можно только *материальными* субстанциями – *объектами управления* (техникой, процессами, учреждениями ...), а изменения характеристик – это *цели управления*.

В сфере безопасности управляют не безопасностью, а системами обеспечения заданной степени безопасности (пожарной, радиационной, комплексной ...). В отличие от систем управления техническими средствами (летательными аппаратами, наземным транспортом и др.), где существует классическое (двухстороннее) управление по каждому параметру – вверх-вниз; вправо-влево и т.д., в системах обеспечения безопасности необходимо *только повышать безопасность* с целью достижения заданных её значений.

Кстати, некоторые авторы управление *утилизацией* бытовых отходов называть *управлением* бытовыми *отходами*, хотя эти отходы – совсем неуправляемые объекты.

Конечно, ошибки терминологические, словарные – это мелочи, по сравнению с содержательными ошибками. Однако иные доклады буквально засорены разного рода неудачными словами, выражениями из серии *"нарочно не придумаешь"*, ко-

торые не украшают эти доклады, вызывают недоверие к их содержанию, дискредитируют как авторов докладов, так и тех, кто их публикует. Вот ряд примеров:

- "разлетающиеся после взрыва **предметы** (приборы, **люди**,...)";
- "имеющийся **некомплект будет пополняться** за счёт выпускников";
- "**страны** иностранных **государств**";
- "**стоимость** аварии";
- "**узкая** ширина", "**ширина** знаний", "**толщина** облака по **высоте**";
- "**залегание** вод", "**залегание** пара";
- "**замёрзший** лёд", "**водная** акватория";
- "спутник **околоземной орбиты**";
- "**площадь** окружности";
- "мобилизация **количества** и **качества** сил и средств";
- "тушение **склада**" (вместо "тушения **пожара** на складе");
- "**газ** является веществом, выделяющимся в **парообразном** состоянии";
- "**взрывоопасная** опасность";
- "**экстремальные** службы"
- "квадратный метр экранирующей **поверхности весит 8-10 кг**";

Следует также заметить, что при компьютерной автоматической проверке **правописания** фиксируются аномальные слова, выражения и "подсказываются" более подходящие, поэтому надо внимательно следить за этими "подсказками" при компьютерном формировании текстов докладов.

Что касается **оформительских ошибок**, то их великое множество как в отдельных докладах, так и в изданных материалах различных конференций.

В материалах одной из конференций была страница, в начале которой были напечатаны фамилии авторов и название доклада, а далее была чистая страница без единого слова текста доклада.

В материалах другой конференции была запись о том, что материалы публикуются **под общей редакцией...**, хотя в действительности доклады были опубликованы **в авторской редакции**, ошибок в тексте было не перечислить, не было даже оглавления, без которого опубликованные материалы представляли собой не сборник, а "свалку" докладов.

В качестве **единицы измерения** количества не только техники, но и **людей** иногда указывают "штуки" (**шт.**) – нормально?!

Конечно, доклады ведущих учёных, как правило, являются высококачественными и практически не требуют редактирования, но контроль их содержания также необходим, поскольку уверенные в непогрешимости компьютеров некоторые авторы не прочитывают подготовленные ими тексты и направляют доклады в оргкомитет конференции, не заметив совершенно неожиданных внесённых компьютером ошибок. Припоминается представленный в оргкомитет доклад, в середине одного абзаца которого текст обрывался и начинался каким-то образом перенесённый сюда текст совершенно другого содержания. Если бы автор внимательно прочитал окончательно сформированный текст, то не заметить возникшую ошибку он бы не смог.

Иными словами, нельзя забывать о том, что **компьютерные технологии** (при всём их могуществе) также могут вносить свою долю ошибок в тексты как за счёт вирусов, так и за счёт недостаточно внимательной обработки авторами текстовой информации, и необходимо **обязательно прочитывать** окончательно сформированный (а лучше – и распечатанный) текст.

В рамках одной статьи невозможно показать всё многообразие содержательных и литературных "шедевров", встречающихся в авторской редакции. Авторская редакция некоторых докладов настолько неудачна, что её редактирование и коррек-



тура превращается в нелёгкое занятие. И поневоле вспоминаются справедливые не только для стихов очень меткие слова В. Маяковского: "Изводишь единого слова ради тысячи тонн словесной руды", разумеется, с учётом того, что в русском языке одно слово может иметь до 10-15(!) различных толкований [4].

Негативной стороной публикаций докладов в авторской редакции в вузах, проводящих конференции, является и то, что недостаточно грамотные доклады служат дурными примерами для обучающихся, хотя должны быть образцами грамотного изложения своих результатов.

В целом публикации докладов в авторской редакции показывают, что таким информированием заинтересованных специалистов и общественности о проблемах безопасности занимаются люди, в какой-то степени безразличные к святому делу защиты самого дорогого на земле – жизни людей и не всегда понимающие, что к этим публикациям надо относиться с особой ответственностью и делать это не только во имя памяти погибших при многочисленных опасных событиях и явлениях, но и ради безопасности живущих.

Поскольку успех любого дела в значительной степени зависит от психологической настроенности занимающихся им людей, от их понимания жизненной необходимости этого дела, то очень хотелось, чтобы организаторы конференций по проблемам безопасности отчётливо понимали, что они делают это в интересах безопасности не только каких-то незнакомых им чужих людей (называемых "населением"), но и своих родных и близких, которые, как и миллионы других людей, не застрахованы от гибели при возникновении опасных событий и явлений.

Хотелось также, чтобы организаторы конференций хотя бы попытались понять всю боль от возможной утраты ими кого-то из своих самых родных и близких, потому что чужая боль ни у кого не болит и, глядя на чужие беды, нельзя представить даже сотую долю своей возможной беды, особенно гибель своих детей.

Разве может себе представить какая-либо мать, что в могилу опускают гроб с телом её единственного сына, погибшего в расцвете сил, а она в каком-то беспомоществе пытается броситься туда же с криком "Заройте меня вместе с ним!" и что её оставшаяся жизнь потеряет все краски мира, кроме траурной чёрной, и будет непроходящей болью души и сердца.

Реальную действительность такого лучше никому и никогда не почувствовать, потому что это хуже собственной смерти. Когда в семью приходит такая беда, жизнь погибшему уже не вернуть, хотя каждую родительскую душу всю оставшуюся жизнь будет терзать неосуществимая мольба: "Если есть или чудо или бог, поменяйте меня с ним местами!"

Хотя бы размышляя над содержанием настоящей статьи, каждому пишущему о безопасности людей надо твёрдо уяснить, что **главное** в обеспечении безопасности – это **предотвращение** опасных событий, несущих смерть. И не последнее место в этом предотвращении должны занимать публикации толковых полезных монографий, учебных материалов, журнальных статей и конференционных докладов.

**Главный вывод**, который может быть сделан по результатам проведённого анализа докладов многих конференций, заключается в том, что публикации докладов по проблемам безопасности не должны носить малограмотный характер и дискредитировать докладчиков, организаторов конференций и всю государственную систему безопасности населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера.

Докладчики пишут так, как умеют, а **долг организаторов конференций** – помочь им публиковать доклады в достойном (отредактированном и откорректированном) виде, не превращая изданные материалы конференций в посмешища.

Конечно, не все сотрудники подразделений НИИ и вузов, организующих конференции, в одинаковой степени эффективно могут заниматься редакционной дея-

тельностью, но в каждом таком подразделении всегда есть люди, способные обнаружить не только самые грубые грамматические и смысловые ошибки, которые не заметит только слепой, но и содержательные ошибки.

Организаторам конференций надо только в принципе отказаться от публикации докладов в авторской редакции и **принять за правило – обязательный контроль** содержания всех полученных докладов, **отбор** (в соответствии с новизной и ценностью содержания) и тщательное **редактирование** докладов (в случае необходимости).

В дополнение к изложенному предлагается несколько рекомендаций авторам докладов.

1. Публикуемый доклад – это запись не для самого автора (как черновые заметки или дневник), а для заинтересованных читателей. Поэтому надо помнить, что, первая редакция редко бывает удачной, даже у опытных докладчиков, она нуждается в улучшении (с неоднократным прочтением "глазами вездливого читателя" после правок), и принять за правило – **обязательное прочтение перед отправкой** в оргкомитет конференции.

2. Далеко не все современные авторы (эпохи сплошной компьютеризации) в совершенстве владеют технологиями формирования печатных текстов (чем раньше занимались профессиональные машинистки) и допускают массу оформительских ошибок. Поэтому в Академии ГПС с учётом регулярно повторяющихся оформительских ошибок в представленных докладах были разработаны правила подготовки и оформления докладов (<http://ipb.mos.ru/sb>). Основные положения этих правил вполне пригодны и для использования при компьютерной подготовке любых других документов, тем более что в наше время нет ни изданных кем-либо аналогичных правил, ни машинисток.

3. Каким бы учёным и знаменитым специалистом в своей области ни был автор публикации, он должен отчётливо понимать, что в других областях науки и техники, а также в писательско-издательском деле он не может быть абсолютно непогрешимым и тоже может ошибаться, поэтому не должен болезненно относиться к редакционному контролю своих публикаций (или публикаций своих учеников) и некоторой возможной правке, только улучшающей текст.

**В заключение** следует отметить, что организация в Академии ГПС **20-ти (!) ежегодных** конференций по проблемам безопасности – это своего рода **трудовой подвиг** инициативной группы сотрудников одного из её ведущих подразделений – Учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий (УНК АСИТ), которые, проявляя высокое чувство ответственности за обеспечение безопасности жизни людей, все эти годы обеспечивали публикацию докладов в достойной грамотной редакции.

Под руководством доктора технических наук, профессора **Топольского Н.Г.** – **инициатора и бессменного председателя организационного комитета** конференций эти сотрудники УНК АСИТ выполнили поистине титаническую работу по редактированию около 2 тыс. докладов, с чистой совестью ежегодно через Российскую книжную палату рассылали типографские издания материалов конференций в 16 ведущих библиотек России, в том числе библиотеки Администрации Президента РФ, Государственной Думы РФ, Российской академии наук, и регулярно передавали их в ВИНТИ РАН для подготовки изданий реферативных журналов, а также размещали доклады на научном интернет-портале "Технологии и системы безопасности" (<http://ipb.mos.ru/sb>).

## Литература

1. Блудчий Н.П. Об информационной культуре работ по обеспечению безопасности от чрезвычайных ситуаций // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН, 2010, № 5. – С. 149-156.

2. Блудчий Н.П. Об информационном обеспечении работ по проблемам техносферной безопасности // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – Вып. 5 (21). – Октябрь 2008. – 9 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb/2008-5.> – 0420800050/0043.

3. Блудчий Н.П. О трактовке и использовании некоторых терминов по проблемам безопасности // Матер. 16-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – СБ-2007. М.: Академия ГПС МЧС России. - 2007.– С. 98-103.

4. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М.: Русс. яз. - 1984. – 797 с.

### **Сведения об авторе**

***Николай Павлович Блудчий***, ведущий научный сотрудник Академии ГПС МЧС России, с.н.с., тел. (495) 617 27 39; e-mail: [ntp-tsb@mail.ru](mailto:ntp-tsb@mail.ru)

## **Реферативный журнал ВИНТИ «РИСК И БЕЗОПАСНОСТЬ»**

**Реферативный журнал (РЖ) "Риск и безопасность"** - периодическое информационное издание, в котором публикуются рефераты, аннотации и библиографические описания, составленные из периодических и продолжающихся изданий книг, трудов конференций, картографических изданий, диссертационных работ, патентных и нормативных документов, депонированных научных работ по проблемам риска и безопасности. За год освещается свыше 1,5 тыс. статей из более чем 70 основных журналов и сборников, примерно из 30 журналов по смежным наукам, издаваемых в Российской Федерации и за рубежом.

**Разделы РЖ "Риск и безопасность":**

- общие проблемы риска и безопасности;
- теоретические основы обеспечения безопасности и оценки риска;
- организация служб противодействия чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера;
- технология и техника для проведения аварийно-спасательных работ;
- предупреждение возникновения и развития чрезвычайных ситуаций различного характера и их ликвидация;
- социальная безопасность;
- информационная безопасность, защита информации;
- медицина катастроф, медицинская помощь при аварийно-спасательных работах;
- техника безопасности и средства защиты при аварийно-спасательных работах.

Издание выходит 12 раз в год.

**Индекс по каталогу: 56224.**

### **Подписка проводится:**

- в почтовых отделениях связи по каталогам **ОАО Агентство «Роспечать»** «Издания органов научно-технической информации» и Объединенному каталогу «Пресса России», Том 1 – на квартал и полугодие;

а также у официальных дистрибьюторов ВИНТИ РАН:

#### **• ЗАО «МК-Периодика»**

Адрес: 111524, Россия, г. Москва, ул. Электродная, 10  
Телефоны: 8 (495) 672-70-12, (495) 672-70-89  
Факс: 8 (495) 306-37-57  
WWW: <http://www.periodicals.ru>  
E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Подписку на территории Российской Федерации для ЗАО «МК-Периодика» осуществляет: ООО «НТИ-Компакт»

Телефоны: 8 (495) 368-41-01, +7-985-456-43-10  
E-mail: [nti-compakt@mail.ru](mailto:nti-compakt@mail.ru)

#### **• ООО «Информнаука»,**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,  
Телефон: 8 (495) 787-38-73 (многоканальный),  
Факс: 8 (499) 152-54-81;  
WWW: <http://www.informnauka.com>,  
E-mail: [alfimov@viniti.ru](mailto:alfimov@viniti.ru)

За справками обращаться в **ВИНТИ РАН**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20, **Отдел взаимодействия с потребителями и дистрибьюторами информационных продуктов ВИНТИ РАН (ОВПД);**

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 155-46-20  
Факс: 8 (499) 155-45-25;  
E-mail: [davydova@viniti.ru](mailto:davydova@viniti.ru), [zinovyeva@viniti.ru](mailto:zinovyeva@viniti.ru)

## **Реферативный журнал ВИНТИ «ПОЖАРНАЯ ОХРАНА»**

**Реферативный журнал "Пожарная охрана"** - периодическое издание ВИНТИ по проблемам пожарной безопасности. В выпуске "Пожарная охрана" за год освещается свыше 3 тыс. статей из более чем 60 основных по пожарной тематике журналов и сборников, примерно из 30 журналов по смежным наукам, издаваемых в Российской Федерации и за рубежом.

### **Разделы РФ "Пожарная охрана":**

- общие проблемы пожарной безопасности;
- организация пожарной охраны; пожарная техника;
- тушение пожаров и тактика тушения;
- процессы горения в условиях пожара;
- пожарная опасность веществ и материалов;
- снижение пожарной опасности, огнезащита;
- пожарная безопасность электросетей и электроустановок;
- пожарная безопасность различных отраслей народного хозяйства, строительства, жилых и общественных зданий, сельского и лесного хозяйства;
- техника безопасности и индивидуальные средства защиты в пожарной охране;
- пожарная сигнализация.
- Периодичность издания – 12 номеров в год.

**Индекс по каталогу: 56136.**

### **Подписка проводится:**

- в почтовых отделениях связи по каталогам **ОАО Агентство «Роспечать»** «Издания органов научно-технической информации» и Объединенному каталогу «Пресса России», Том 1 – на квартал и полугодие;

а также у официальных дистрибьюторов ВИНТИ РАН:

#### **• ЗАО «МК-Периодика»**

Адрес: 111524, Россия, г. Москва, ул. Электродная, 10  
Телефоны: 8 (495) 672-70-12, (495) 672-70-89  
Факс: 8 (495) 306-37-57  
WWW: <http://www.periodicals.ru>  
E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

Подписку на территории Российской Федерации для ЗАО «МК-Периодика» осуществляет: ООО «НТИ-Компакт»

Телефоны: 8 (495) 368-41-01, +7-985-456-43-10  
E-mail: [nti-compakt@mail.ru](mailto:nti-compakt@mail.ru)

#### **• ООО «Информнаука»,**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,  
Телефон: 8 (495) 787-38-73 (многоканальный),  
Факс: 8 (499) 152-54-81;  
WWW: <http://www.informnauka.com>,  
E-mail: [alfimov@viniti.ru](mailto:alfimov@viniti.ru)

За справками обращаться в **ВИНИТИ РАН**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20, **Отдел взаимодействия с потребителями и дистрибьюторами информационных продуктов ВИНТИ РАН (ОВПД);**

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 155-46-20  
Факс: 8 (499) 155-45-25;  
E-mail: [davydova@viniti.ru](mailto:davydova@viniti.ru), [zinovyeva@viniti.ru](mailto:zinovyeva@viniti.ru)

## Научный информационный сборник «ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ»

**Предназначен для руководителей и специалистов государственных служб, научных организаций и промышленных предприятий, которые занимаются безопасностью населения, территорий и промышленных объектов, а также для преподавательского состава по подготовке кадров всех уровней в области обеспечения безопасности в различных сферах деятельности.**

Научный информационный сборник издается Всероссийским институтом научной и технической информации (ВИНИТИ) при участии МЧС России с 1990 г. с периодичностью 6 номеров в год, объемом 12 авт. листов каждый, ISSN 0869-4176.

В состав редколлегии входят ведущие специалисты в области проблем безопасности институтов и организаций РАН, МЧС России, Минатома России, Минюста России, Горгостехнадзора России, Минэкономики России и других министерств и ведомств России.

Сборник является междисциплинарным научно-техническим изданием в данной области. За 21 год существования журнала сложился высокоэрудированный авторский коллектив из специалистов различных отраслей науки и промышленности.

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России научно-информационный сборник "Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций" включён в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук.

### **В журнале освещаются:**

- основы государственной политики в области безопасности;
- правовое регулирование в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- обзор теоретических и практических методов оценки риска различных объектов и прогнозирования ЧС; управление рисками различных категорий; страхование;
- научно-теоретические и инженерно-технические разработки в области проблем безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; проблемы безопасности транспортных систем;
- организация служб гражданской защиты и комплексной безопасности населения; проблемы безопасности личности, общества и государства;
- подготовка специалистов для государственных служб безопасности, преподавательского состава и учащихся высших и средних учебных заведений по дисциплинам: "Безопасность жизнедеятельности", "Пожарная безопасность" и "Экология";
- международное сотрудничество в области безопасности;
- информационная безопасность;
- проблемы "Медицины катастроф";
- статистические данные о чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом; информация о конгрессах, семинарах, совещаниях и выставках, а также о новых изданиях по проблемам безопасности и чрезвычайных ситуаций.

Более подробно о журнале можно узнать на сайте по адресу <http://www.viniti.ru>.

**По вопросу публикаций** обращаться по: телефону (499) 155-44-26; E-mail: [tranbez@viniti.ru](mailto:tranbez@viniti.ru).

Периодичность журнала - 6 номеров в год, индекс 55431 по Каталогу Роспечати "Издания органов научно-технической информации" на первое полугодие 2013 года.

### **Подписка проводится:**

- в почтовых отделениях связи по каталогам **ОАО Агентство «Роспечать»** «Издания органов научно-технической информации» и Объединённому каталогу «Пресса России», Том 1 – на квартал и полугодие; а также у официальных дистрибьюторов ВИНИТИ РАН:

#### **• ЗАО «МК-Периодика»**

Адрес: 111524, Россия, г. Москва, ул. Электродная, 10  
Телефоны: 8 (495) 672-70-12, (495) 672-70-89  
Факс: 8 (495) 306-37-57  
WWW: <http://www.periodicals.ru>  
E-mail: [info@periodicals.ru](mailto:info@periodicals.ru)

За справками обращаться в **ВИНИТИ РАН**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

**Отдел взаимодействия с потребителями и дистрибьюторами информационных продуктов ВИНИТИ РАН (ОВПД);**

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 155-46-20

Факс: 8 (499) 155-45-25;

E-mail: [davydova@viniti.ru](mailto:davydova@viniti.ru), [zinovyeva@viniti.ru](mailto:zinovyeva@viniti.ru)

Подписку на территории Российской Федерации для ЗАО «МК-Периодика» осуществляет: ООО «НТИ-Компакт»

Телефоны: 8 (495) 368-41-01, +7-985-456-43-10

E-mail: [nti-compakt@mail.ru](mailto:nti-compakt@mail.ru)

#### **• ООО «Информнаука»,**

Адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефон: 8 (495) 787-38-73 (многоканальный),

Факс: 8 (499) 152-54-81;

WWW: <http://www.informnauka.com>,

E-mail: [alfimov@viniti.ru](mailto:alfimov@viniti.ru)