

УДК 614.8:504.06:519.87

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. А. Острейковский¹, М. А. Погореловский²

Сургутский государственный университет, ¹ ova@ivt.surgu.ru, ² pogorelovsky_ma@surgu.ru

В статье рассматривается содержание трех этапов развития одного из наиболее важных разделов теории безопасности сложных технических систем – теории техногенного риска. Описано состояние вопроса с объяснением техногенной безопасности сложных критически важных технических систем. Детально исторически изложены этапы становления и развития теории техногенного риска на протяжении второй половины XX в. и начала XXI в. В этот промежуток времени техногенный риск стал важным количественным критерием безопасности и опасных систем. Приведен перечень наиболее перспективных математических методов и моделей количественной оценки техногенного риска.

Ключевые слова: безопасность, риск, техногенный риск, авария, катастрофа.

STAGES OF DEVELOPMENT OF THE THEORY OF MAN-MADE RISKS IN THE SAFETY ASSESSMENT OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

V. A. Ostreykovsky¹, M. A. Pogorelovsky²

Surgut State University, ¹ ova@ivt.surgu.ru, ² pogorelovsky_ma@surgu.ru

The article deals with the contents of three steps in development of one of the most significant sections in the theory of complicated technical system's safety, the theory of technogenic risk. There is a description of the question's state with the explanation of technogetic safety in difficult critical of important technical systems. The stages in formation and development of technogenic risk during the XX and the beginning of the XXI centuries are depicted with detailed history. In this period of time the technogenic risk became a significant quantity criterion of safety and unsafe systems. The list of more perspective methods in mathematics and its models of quantity estimation of technogetic risk.

Keywords: safety, risk, technogenic risk, accident, catastrophe.

Введение

В последние 20 лет в нашей стране было много сделано в плане обеспечения безопасности сложных критических динамических систем (СДС). В частности:

- разработан механизм управления безопасностью СДС на государственном уровне;
- разработан комплекс мероприятий по реализации «Стратегии национальной безопасности РФ до 2020 г.», утвержденная Указом Президентом РФ №537 от 12.05.2009г.;
- выполнена «Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы» №233 – р от 27.02.2008г.;
- разработан «План фундаментальных исследований РАН до 2025г.»;
- осуществлено обобщение результатов систематических фундаментальных и прикладных исследований за два десятилетия с 1990 по 2010 годы в 33^х томной серии «Безопасность России», в 6-ти томной серии «Природные опасности России», в уникальном «Атласе природных и техногенных опасностей в Российской Федерации», в трёхтомной серии «Россия в борьбе с катастрофами», в 4^х томной энциклопедии «Гражданская защита», в 4^х томном издании «Материалы государств – участников СНГ в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций»;
- в апреле 2008г. в Москве создан Национальный центр управления в кризисных ситуациях (НЦУКС);
- при Министерстве по чрезвычайным ситуациям создан Экспертный совет и выпускается специализированный журнал «Проблемы анализа риска».

В Российской Федерации фактически создана национальная и межведомственная организация работ по научному обеспечению комплексной безопасности, включающая 5 национальных приоритетов, восемь приоритетных научных направлений и 34 критических технологий России, утвержденных Президентом Российской Федерации [1].

Вместе с тем, как утверждает в своей статье Президент экспертного союза, член-корреспондент РАН, председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности Н.А.Махутов [2] «в ряде указанных программ пока в явном виде отсутствуют количественные показатели стратегических рисков, в условиях модернизации экономики России, что затрудняет как планирование самим мероприятий, так и контроль со стороны государства за эффективной их реализацией».

Целью данной статьи является изложение этапов развития теоретических основ количественной оценки одного из основных показателей техногенной безопасности сложных динамических технических систем (СДТС) – техногенного риска.

Состояние вопроса: техногенный риск как критерий безопасности

В жизни человека невозможно назвать деятельность, не связанную с риском. Природные, финансовые, политические и социальные риски всегда были, есть и, по-видимому, будут в жизни человечества.

Начиная с XX в. проявляется еще один опасный вид риска – техногенный. Особенно остро перед человечеством проблема техногенного риска встала во второй половине XX в., когда под влиянием научно-технической революции появились структурно и функционально сложные и высокоопасные системы, производства и технологии в области транспорта, энергетики, добычи и переработки природных ископаемых.

В России, по данным ежегодных государственных докладов МЧС, за последний период имеют место более 1300–1500 чрезвычайных ситуаций, из них около 70–75 % – техногенного и 25–30 % – природного характера. Число техногенных аварий и катастроф на промышленных объектах составляет около 15–20 %, на гражданских объектах – 20–25 %, на транспорте – около 10–15 %, на магистральных трубопроводах – 3–5 %, на ядерных объектах – 1 %, на химических объектах – 4–6 %, на авиационном транспорте – 3–5 %, на судах – 2–3 %.

Интегральные прямые потери США вследствие техногенных аварий и катастроф за последние годы достигают 2–4 % ВВП, а косвенные оказываются выше прямых в три-четыре раза.

По данным ООН, общее число природных катастроф возросло с 73 в 1975 г. до 440 в 2007 г. Число же техногенных аварий и катастроф в этот период увеличилось втрое: с 1230 в период с 1978 г. по 1987 г. до 3 435 в период с 1998 г. по 2007 г.

Если относительное изменение по годам числа природных катастроф сравнительно невелико (относительный рост до 1,64), то коэффициент нарастания техногенных аварий и катастроф за последние 5–10 лет резко увеличился до 6,0. Темп нарастания техногенных аварий и катастроф увеличивался в 3,5 раза быстрее, чем природных [3–4].

При объемах прямого ущерба, превышающих 3–5 % от ВВП, и ежегодном его росте на 10–15 % в год, становится очевидным, что в ближайшие годы экономика России будет восполнять огромные потери от техногенных и природных катастроф. Достаточно вспомнить планируемые (!) прямые убытки только от одной катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС в 40 млрд руб. (в ценах 2007г.) Только в 2011 г. в России произошло 5 аварий с космическими аппаратами с многомиллиардными убытками.

К середине 60-х и началу 70-х гг. XX в. человечество столкнулось с очень сложной проблемой – проблемой обеспечения безопасности. Безопасность любой промышленной установки, а тем более сложной (большой) системы или транспортного средства, не может быть абсолютной – такая «техническая» природа безопасности. Любые виды промышленной деятельности и на транспорте характеризуются наличием риска возникновения аварий (или катастроф) с серьезными последствиями. Наибольшие последствия аварий и катастроф возможны в химической промышленности, ядерной энергетике и на транспорте.

Так, например, в химической промышленности – это потенциальная опасность утечки токсических веществ в окружающую среду, опасность пожаров и взрывов на химических заводах. На транспорте – это, в первую очередь, падение самолетов в гражданской авиации с гибелью пассажиров, автомобильные катастрофы, катастрофы крупных морских лайнеров, начиная с «Титаника» и заканчивая «Коста Конкордия» в 2012 г. Особой опасностью обладают объекты ядерной энергетике,

основную часть которых составляют атомные станции. Тяжелые аварии и катастрофы на АС происходят редко, но их последствия при этом очень велики. Это связано с образованием и накоплением на АС и радиационно-опасных объектах значительного количества радиоактивных веществ в процессе их эксплуатации и возможным выбросом радионуклидов в окружающую среду. Именно по этой причине с предприятиями химической промышленности и АС связан специфический риск – потенциальная опасность для персонала, населения и окружающей среды в случае выхода токсических веществ и радиоактивных продуктов за пределы защитных барьеров.

В теории техногенного риска можно выделить три этапа её становления и развития[5].

Первый этап становления техногенного риска

В 1967 и 1972 гг. появились работы Ф. Фармера [6,7] по вопросам безопасности и риска в ядерной энергетике. В этих работах отмечалось, что при эксплуатации АС не исключена вероятность инцидентов и аварий, включая тяжелые, связанные с повреждением тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и выходом из них радиоактивных веществ. В эти же годы в СССР и США были сформированы проектно-конструкторские и научные организации, которые на высоком профессиональном уровне занимались оценкой надежности и безопасности сложных высоко опасных систем. К таким предприятиям относились, прежде всего, НИКИЭТ, Атомэнергопроект, МАГАТЭ, вузы.

Проблеме обеспечения безопасности в мире и РФ уделяется большое внимание. Исторически за рубежом в США с 1973 г. издается журнал «*Safety Science Abstracts*», в РФ несколько десятилетий выходит в свет журнал «Вопросы безопасности при чрезвычайных ситуациях».

Таким образом, к 1975 г. в мире сформировалось научное направление, объектом исследования которого стали *рисковые ситуации* в промышленности и на транспорте. Эту дату можно считать окончанием первого этапа становления теории технической и техногенной безопасности, когда понятие «риск» приобрело особое значение в теории безопасности технических систем. Причем одним из основных количественных показателей безопасности становится понятие «техногенный риск».

Термины «технический риск» и «техногенный риск» стали особенно широко использоваться в последние 15–20 лет. Особым толчком к исследованию техногенного риска послужили аварии и катастрофы на АЭС Tree Maile Asland (ТМ) (США, 1979), взрыв и пожар на химическом комбинате в Бхопале (Индия, 1984) и Чернобыльской АЭС (Украина, 1986).

Второй этап развития техногенного риска

В 80-е гг. XX в. начался второй этап в развитии теории техногенного риска. Он характеризуется разработкой методологии и технологии исследования техногенного риска. Стало очевидным, что развитие цивилизации привело к возникновению особых условий существования – техносферы. Развитие техносферы, в свою очередь, способствует накоплению больших потенциальных опасностей – техногенных факторов. На парирование потенциальных опасностей техносферы потребовалось отвлечение части ресурсов общества на создание технических систем безопасности. Однако технические системы безопасности, также, как и социально-экономические, пока не позволяют полностью исключить влияние неблагоприятных техногенных факторов.

В этот период были разработаны несколько концепций построения технических систем безопасности: абсолютной безопасности (безаварийной эксплуатации), максимальной проектной аварии, приемлемого риска. Для анализа риска используется ряд концепций, различных по исследуемым сферам его проявления: технократической, экономической, психологической и социологической.

Последняя декада XX в. и первое десятилетие XXI в. характерны принятием ряда федеральных и отраслевых законов, руководящих документов и инструкций, в которых приняты шаги по переходу при оценке безопасности промышленных производств и транспорта на использование показателей риска. В частности, в этом плане большую роль в нашей стране сыграл Федеральный закон № 184-ФЗ 2002 г. «О техническом регулировании» .

К началу первого десятилетия XXI в. сформировались три направления исследования техногенного риска: анализ, оценка и прогноз. В рамках указанных концепций техногенного риска стали широко использоваться различные методы: феноменологические, детерминистские, вероятностные и экспертные.

Много проблем обеспечения безопасности систем сняла концепция, основанная на вероятностном анализе безопасности (ВАБ). В основу ВАБ был положен такой эмпирический факт, что никакая деятельность не может быть полностью безопасной, т.е. достичь абсолютной безопасности при при-

менении технической системы невозможно. Таким образом, отправной точкой анализа безопасности становится понятие риска, связанного с данной технологией, и уровня приемлемого риска, обусловленного экономическими и социальными факторами [8-10].

Третий этап развития техногенного риска

Как часто бывает, в развитии науки после первых лет накопления первоначальных знаний в рассматриваемой теории наступает лавинообразный поток информации. Так случилось и с теорией риска вообще и теорией техногенного риска в частности. В конце XX и в начале XXI вв. произошел настоящий информационный взрыв в развитии теории техногенного риска. В России и за рубежом стало публиковаться большое число монографий, журнальных статей, учебной литературы по проблематике техногенного риска. В нашей стране выходит более двух десятков журналов, ежегодно проводятся несколько международных и отечественных отраслевых симпозиумов, и конференций по тематике техногенного риска. Фундаментальные основы теории техногенного риска активно разрабатываются научными центрами Российской академии наук. Прикладные исследования и разработки выполняются научными организациями ведущих министерств и ведомств России и наиболее плодотворно в организациях, связанных с МЧС РФ.

Появились и успешно функционируют крупные научные школы по теории техногенного риска в Москве, Санкт-Петербурге, Томске и других городах, а также ряд Российских НИИ, проектно-конструкторских организаций, вузов и международных школ анализа безопасности и риска [5, 11, 12].

Постановка задач количественной оценки техногенного риска

После известных тяжелых техногенных катастроф последней трети XX в. и первого десятилетия XXI в. вопросы анализа, оценки и прогнозирования отказов, аварий и катастроф продолжают оставаться не только чрезвычайно актуальными, но и становятся одной из главных проблем выживания человечества. В этом плане необходимо дальнейшее развитие одного из важных разделов теории безопасности сложных динамических высокоопасных систем – теории техногенного риска.

Как известно [2, 5-7, 9, 10], количественное значение риска определяется с помощью выражения

$$R = H \{Q C\}, \quad (1)$$

где R – количественный показатель риска;

H – искомый оператор;

Q – вероятность исходного события;

C – последствия (ущерб) от исходного события (отказа, аварии, катастрофы).

Этот подход обычно интерпретируется двумерной кривой Ф. Фармера (рис. 1).

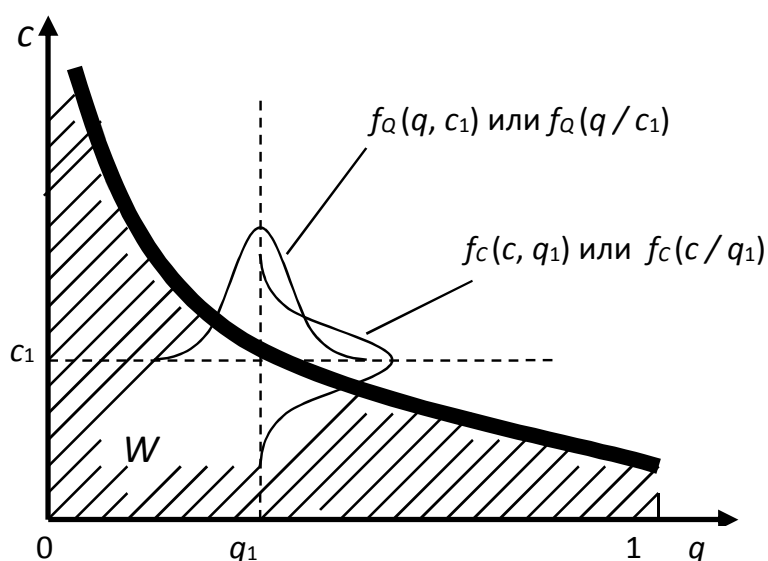


Рис. 1. Развитие модели риска по Ф. Фармеру

При этом под значением самого риска на рис.1 понимается значение возможного ущерба C при соответствующем значении вероятности q .

Недостатками данного подхода являются: 1) неучет изменения величин Q и C во времени; 2) величины Q и C в общем случае являются либо случайными величинами, либо случайными процессами, что и наблюдается при реальной эксплуатации систем.

Пусть множества:

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$, $q_i \in Q, i = \overline{1, n}$ — множество возможных вероятностей исходных событий (отказов, аварий, катастроф);

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, $c_i \in C, i = \overline{1, n}$ — множество последствий (ущерба) от свершения i -тых исходных событий,

$t_i \in T$ — множество моментов времени,

$R_i \in R$ — множество возможных рисков,

$$R = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (2)$$

Очевидно, что

$$R = H \{ Q \times C \times T \} \quad (3)$$

или в скалярной форме

$$R(q, c, t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) c_i(t), \quad (4)$$

где H — оператор, реализующий отображение

$$Q \times C \times T \rightarrow R \quad (5)$$

Или

$$R(q, c, t) = H \{ t, t_0, R_0(q_0, c_0, t_0), R(q, c)_{t_0}^t \} \quad (6)$$

где t — текущий момент времени, в котором определяется риск;

t_0 — начальный момент наблюдения за состоянием системы, $t \geq t_0$;

q_0, c_0, R_0 — соответственно вероятность исходных состояний динамической системы, ущерб и риск в начальный момент времени наблюдения за состоянием системы.

Оператор H может быть представлен набором более простых операторов:

$$H = \{H_j\}, \quad j = \overline{1, m} \quad (7)$$

Число m видов оператора H зависит от сложности системы, взаимодействия подсистем, блоков и элементов в системе (т.е. характер внутренних связей), влияния внешней среды, количества звеньев в иерархии управления, видов опасностей и угроз и других различных факторов.

Очевидно что задачи количественной оценки значений техногенного риска состоят в определении вида и значений оператора H .

Наиболее перспективные направления развития математических методов и моделей количественной оценки техногенного риска СДС можно, на наш взгляд, классифицировать следующим образом:

- модели соотношения вероятностей исходных событий аварий и катастроф СДС и ущерба от них в рамках теории случайных величин и процессов;
- методы непрерывных и дискретных марковских процессов;
- методы и модели разрывных случайных процессов;
- методы и модели немарковских случайных процессов;
- модели теории катастроф;
- модели теории фракталов;
- методы и модели оценки фактора времени в условиях экстремальных нагрузок на оборудование СДС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник методических документов, применяемых при анализе и оценке техногенных рисков. Союз организаций, осуществляющих экспертную деятельность в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, промышленной, пожарной и экологической безопасности. Москва. 2011. 416 с.
2. Махутов Н.А. Прямые иностранные инвестиции: мотивы и препятствия // Сборник методических документов, применяемых при анализе и оценке техногенных рисков. 2011. С. 3–15.
3. Острейковский В.А., Муравьев И.И., Шевченко Е.Н. Развитие теории техногенной безопасности и риска объектов нефтегазовой отрасли // Вестник Сургутского гос.ун-та. 2014. № 4(6). С. 39–43.
4. Острейковский В.А., Шевченко Е.Н. Анализ статистических данных частей риска и моделирование закономерностей распределения аварий и катастроф критических объектов // Труды международной научной школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (МА БР-2014). Санкт-Петербург: ГОУ ВПО «СПбГУФП», 2014. С. 81–86.
5. Теория техногенного риска: математические методы и модели: монография / Сост. В.А. Острейковский ; Сургут. гос. ун-т ХМАО – Югры. Сургут : ИЦ СурГУ, 2013. 320 с.
6. Farmer F // Nuclear Safety. 1967. Vol. 8, no. 6. P. 539–548.
7. Farmer F // Nuclear Safety. 1967. Vol. 13, no. 5. P. 362–364.
8. Как подготовить рукопись вузовской книги к изданию : метод. указани8. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97 ПН-001-97 (ПНАЭГ-01-011-97). М:Энергоатомиздат, 1997. 68 с.
9. Надёжность и безопасность сложных систем / Сост. И.А. Рябинин. СПб.: Политехника, 2000. 248 с.
10. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / Сост. В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 353 с.
11. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / Сост. В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. М.:Деловой экспресс, 2004. 348 с.
12. Общая теория рисков / Сост. Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. М.:Академия, 2007. 368 с.