

# ОБ ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ ТЕОРИИ ТЕХНОГЕННОГО РИСКА

**О.В. Абрамов**

*Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения РАН*

Россия, 690041, Владивосток, ул. Радио 5

E-mail: [abramov@iacp.dvo.ru](mailto:abramov@iacp.dvo.ru)

**Ключевые слова:** надежность, риск, параметр, прогноз, случайный процесс, мониторинг, техническое состояние, управление эксплуатацией, гарантирующий подход

**Аннотация:** Рассмотрены некоторые подходы к решению задачи управления техногенными рисками сложных систем ответственного назначения, базирующиеся на идеях функционально-параметрического подхода теории надежности. Предлагается стратегия управления рисками, в основе которой индивидуальное прогнозирование процессов изменения параметров исследуемой системы.

## 1. Введение

В последние годы в нашей стране сохраняется высокий уровень чрезвычайных происшествий техногенного характера, аварий и катастроф, приведших к большим материальным потерям и человеческим жертвам. Можно вспомнить отказы техники, приведшие к гибели воздушных и морских судов, аварии в системах электроснабжения, трубопроводах и многое другое. По данным МЧС РФ техногенные чрезвычайные ситуации (ЧС) составляют около 70% от общего числа ЧС. Высокий уровень чрезвычайных ситуаций техногенного характера делает актуальным решение целого ряда новых задач теории рисков [1].

Проблема снижения техногенных рисков приобретает особую актуальность применительно к техническим объектам ответственного назначения, отказы которых связаны с большими материальными потерями или катастрофическими последствиями. В большинстве своем это сложные системы, изготавливаемые в небольшом числе экземпляров, эксплуатирующиеся в отличающихся условиях и реализующие экстремальные технологии. Такие технические системы часто называют уникальными и высоко ответственными.

Риск обычно связывают с наступлением некоторого, вообще говоря, случайного события, которое называют рисковым. Считается, что события каким-то образом распределены во времени и сопровождаются определенными материальными или иными издержками также случайными по величине. Поэтому под риском понимают вероятностную модель, на которой определена двухкомпонентная случайная величина, первая из компонент которой – время наступления рискового события, а вторая указывает ущерб, приносимый этим рисковым событием [1]. Классическая теория риска [2], которая зародилась и развивалась в недрах актуарной (страховой) и финансовой математики, исходит из заданных априори или определяемых статистически с достаточной достоверностью законов распределения такой двумерной случайной величины. При исследовании техногенных рисков в качестве рискового события рассматривается потеря работоспособности (отказ) технического объекта, характеристиками которого является

наработка (время безотказной работы) или момент отказа, вероятностные характеристики которых определяются методами математической статистики и теории надежности. К сожалению, при исследовании уникальных высоко ответственных систем (УВС) получить достаточно представительную статистику отказов не представляется возможным. Это связано с тем, что их отказы являются редкими событиями. Больше того, задача состоит не в накоплении статистики отказов, а в их предотвращении. В этих условиях перспективным при решении задачи оценки и управления техногенными рисками может стать использование идей функционально-параметрического (ФП) подхода теории надежности [3,4]. Соответствующее направление теории техногенных рисков будем также называть функционально-параметрическим.

## 2. Основные положения функционально-параметрического направления теории техногенных рисков

В основе методологии функционально-параметрического подхода теории рисков лежат следующие основные принципы:

- процесс функционирования системы и ее техническое состояние в любой момент времени определяются конечным набором некоторых переменных – параметров системы;
- накопление различных воздействий на систему приводит к изменениям ее параметров и вследствие этого к возможности перехода в иное качественное состояние.
- наступление рискованного события (отказа) есть следствие отклонений параметров от их исходных (номинальных, расчетных) значений, а формой проявления отказа является выход параметров за пределы области допустимых значений (области работоспособности).

При решении задачи управления техногенными рисками на основе ФП-подхода необходимо уметь оценивать текущее техническое состояние системы, прогнозировать изменения технического состояния (момент перехода в предельное состояние), а также определять соответствующие суммарные и единовременные эксплуатационные расходы, связанные с мониторингом состояния, проведением профилактических мероприятий и с ущербом, вызванным наступлением рискованного события.

Пусть  $Y(t)$  – случайный процесс (в общем случае векторный) изменения некоторого параметра состояния технической системы, статистические характеристики которого полагаются известными. Задана область допустимых изменений этого параметра (область работоспособности). Рискованное событие  $R$  в этом случае наступает в момент выхода случайного процесса  $Y(t)$  за пределы области работоспособности, а нахождение вероятности наступления рискованного события  $P(R)$  можно свести к решению задачи о выбросах случайных процессов [5]. Заметим, что результаты анализа рисков основаны при таком подходе на априори заданных закономерностях изменений параметров всего ансамбля объектов рассматриваемого типа и не учитывают индивидуальных особенностей отдельной конкретной системы, а поэтому носят «групповой» характер. Рассчитанная с использованием таких результатов стратегия управления риском может быть рекомендована для всех объектов данного типа независимо от того, насколько каждый из них отличается от среднестатистического. Поэтому она оправдана лишь в тех случаях, когда эксплуатируемые объекты статистически однородны (имеют небольшой разброс индивидуальных характеристик качества), а рискованное событие не связано с большими материальными потерями или катастрофическими последствиями.

Для УВС стратегия управления техногенными рисками должна учитывать индивидуальные особенности каждой конкретной системы и условий ее эксплуатации. Такую стратегию и соответствующие ей риски будем называть индивидуальными. Эффект от использования индивидуальной стратегии управления рисками определяется главным образом следующими факторами:

- возможностью в наибольшей степени использовать ресурс каждой конкретной системы, что достигается уменьшением числа преждевременных вмешательств в ее работу;
- возможностью предотвращения наступления рискованных событий (отказов), вызываемых выходом определяющих параметров системы за пределы области работоспособности, что достигается своевременным прекращением эксплуатации или проведением профилактических мероприятий.

Индивидуальное управление рисками возможно при условии получения текущей информации о действительном техническом состоянии каждой системы, т.е. реализация индивидуального подхода, требует непрерывного или дискретного контроля и анализа ее технического состояния.

В основе индивидуального подхода лежит прогнозирование изменений параметров технического состояния системы, осуществляемое по результатам контроля. Прогнозирование состояния по одной реализации, т.е. по наблюдениям за одной конкретной системой может проводиться только при наличии известных априорных характеристик процессов, протекающих в аналогичных системах (модели случайного процесса дрейфа параметров), и данных о характеристиках ошибок контроля и других помех.

Основные трудности при решении задачи прогнозирования состояния для синтеза стратегии управления техногенными рисками связаны с тем, что прогноз приходится осуществлять для каждого объекта индивидуально. При этом имея малый объем исходной информации (по небольшому набору результатов контроля), и в присутствии помех (ошибок контроля и выбранной модели изменения параметров), статистические свойства которых достоверно не известны. В этих условиях классические методы математической статистики и теории случайных процессов теряют свои привлекательные свойства, а их использование для прогнозирования момента наступления рискованного события приводит к существенным ошибкам и невысокой достоверности прогноза. В связи с этим необходимы расширение исходной информационной базы за счет проведения комплексного обследования УВС и последующего мониторинга системы эксплуатации и разработка новых методов прогнозирования, дополняющих уже известные.

### **3. Управление рисками с использованием прогноза**

Некоторые подходы к решению задачи индивидуального прогнозирования технического состояния УВС и планирования их эксплуатации при дефиците и неполной достоверности исходной информации, позволяющие получать в этих условиях достаточно надежные результаты, рассмотрены в докладе. Здесь при оценке момента наступления рискованного события задаются лишь границы, в пределах которых могут лежать неизвестные ошибки измерений, а также принятой модели процесса изменения параметров состояния. Управление строится с расчетом на наихудший случай, допускаемый данными наблюдений.

Если в качестве модели случайного процесса изменения параметров состояния исследуемого технического объекта может быть принята структура в виде полинома Чебышева со случайными коэффициентами, то предлагается использовать метод индивидуального гарантированного прогноза [6]. В отличие от традиционных вероятностно-

статистических методов прогноза он позволяет получать решение при отсутствии сведений о вероятностных характеристиках ошибок наблюдений и других помех. Метод основан на использовании экстремальных свойств полиномов Карлина [7] и идеях минимаксного оценивания.

Метод гарантированного прогноза позволяет определить некоторую область, в пределах которой гарантированно будут находиться параметры состояния в заданный упрежденный момент времени. Он обладает необходимыми свойствами несмещенности, однозначности и оптимальности. Результаты прогноза позволяют оценить момент наступления рискованного события и остаточный ресурс УВС, а также определить стратегию управления техногенным риском (назначать целесообразные моменты контроля состояния, а также профилактических и ремонтных работ).

Стратегия управления рисками должна быть такой, чтобы суммарные потери, связанные с эксплуатацией исследуемой УВС были бы минимальными. В ряде случаев в качестве критерия выбора этой стратегии можно использовать показатель гарантированного уровня общих материальных потерь при эксплуатации системы в течение заданного времени  $T$ .

$$S = \sup_{\mathbf{y}(t) \in Y \times T} \int H(\mathbf{y}(t))dt + V_T,$$

где  $H(\mathbf{y}(t))$  – функция потерь, определяющих материальные потери, возникающие при отклонении вектора состояния объекта  $\mathbf{y}(t)$  от номинального;  $V_T$  – затраты на оценку (контроль) технического состояния и проведение мероприятий по техническому обслуживанию объекта во время эксплуатации.

Аддитивность критерия  $S$  открывает путь к решению задачи на основе принципа оптимальности Беллмана. При этом поиск искомой стратегии можно рассматривать как многошаговый управляемый процесс принятия решений для синтеза оптимальной системы управления, а  $S$  – финальная функция потерь (сумма потерь, связанных со всеми шагами принятия решений). Соответствующие алгоритмы являются адаптивными, так как совместно с принятием основных решений оценивают неизвестную обстановку, чем улучшают процесс принятия решений. Они достаточно просты и могут быть реализованы в рекуррентном виде.

Реализация возможностей функционально-параметрического подхода теории рисков в первую очередь связана с внедрением методов и средств технического контроля состояния и диагностирования в практику эксплуатации УВС. Работы по созданию диагностического обеспечения сложных технических объектов ответственного назначения в последние годы активно ведутся как в нашей стране, так и за рубежом. Существующий ряд макетных и опытных образцов переносных приборов зарубежного и отечественного производства, использующих методы неразрушающего контроля и диагностирования, позволяет прямо или косвенно определить в ходе диагностического обследования важнейшие параметры технического состояния оборудования УВС различного назначения. Все это убеждает в перспективности ФП - направления теории рисков. Вместе с тем эффективность использования этого направления будет существенно выше, если средства контроля и диагностирования будут являться частью информационно-вычислительного комплекса (ИВК), содержащего программно-алгоритмические средства обработки диагностической информации, прогнозирования рисков и управления состоянием УВС.

Одним из наиболее удачных примеров таких ИВК может служить система VIBROCAM, которая может использоваться в задачах оценки рисков и планирования эксплуатации машин и механизмов, индикатором состояния которых являются механические колебания (турбины, генераторы, компрессоры, вентиляторы, электродвигатели

и др.). Основными компонентами этой системы являются портативный виброизмерительный прибор и персональный компьютер, программное обеспечение которого позволяет осуществлять сбор, хранение и обработку (вычисление частотного спектра, сравнение с предельно допустимыми значениями и др.) контролируемых параметров.

Перспективным с точки зрения использования предлагаемого подхода при решении задач предотвращения аварийных ситуаций могут стать проводимые в ИАПУ ДВО РАН исследования в области диагностики и мониторинга технического состояния мощных энергетических установок по полям их излучений [8]. А также исследования в области создания волоконно-оптических датчиков и измерительных систем мониторинга параметров процессов деформирования технических конструкций и сооружений [9].

## 4. Заключение

Исследованы некоторые пути решения проблемы снижения техногенных рисков, источником которых являются постепенные отказы. Особую важность решение этой проблемы приобретает применительно к уникальным системам ответственного назначения, отказы которых приводят к существенным материальным потерям или катастрофическим последствиям. Задача предотвращения отказов таких систем связана с необходимостью мониторинга и прогнозирования их технического состояния, которые являются основой организации системы эксплуатации по фактическому состоянию. Прогнозирование процессов изменения параметров и остаточного ресурса позволяет рационально спланировать проведение регламентных работ, ремонт и замену техники, уточнить объемы и сроки контроля, учесть особенности применения техники в различных условиях работы и т.д.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН комплексной программы «Дальний Восток», проект № 18-5-044.

## Список литературы

1. Рыков В.В., Иткин В.Ю. Надежность технических систем и техногенный риск. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 192 с.
2. Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
3. Абрамов О.В. Функционально-параметрический подход в задачах обеспечения надежности технических систем // Надежность и контроль качества. Методы менеджмента качества. 1999. № 5. С. 34-45.
4. Abramov O., Dimitrov B. Reliability design in gradual failures: a functional-parametric approach // Reliability: Theory & Applications. 2017. Vol. 12, No. 4 (47). P. 39-48.
5. Тихонов В.И., Хищенко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. М.: Наука, 1987. 304 с.
6. Abramov O., Nazarov D. Condition-based maintenance by minimax criteria // Applied Mathematics in Engineering and Reliability: Proceedings of the 1st International Conference on Applied Mathematics in Engineering and Reliability. Ho Chi Minh City, Vietnam, 4-6 May 2016. P.91-94.
7. Карлин С., Стадден В. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике. М.: Наука, 1976. 586 с.
8. Абрамов О.В., Борисов Б.Д., Киншт Н.В. и др. Техническая диагностика и мониторинг мощных энергетических установок по полям их излучений // Автометрия. 2003. Т. 39, № 6. С. 86-97.
9. Кульчин Ю.Н. Точечные и распределенные волоконно-оптические датчики для технических и экологических применений // Фотон экспресс. 2009. № 6. С. 82-83.