

ВОПРОСЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Е.С. Калинина, кандидат педагогических наук, доцент.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены основные принципы математического моделирования информационных систем мониторинга сложных технических систем с целью обеспечения их безопасной эксплуатации. Для решения задач анализа и управления различными видами рисков сложных технических систем предлагается использование совокупности математических моделей в зависимости от уровня иерархии, степени декомпозиции системы, а также целей и задач исследования.

Ключевые слова: сложная техническая система, информационные системы мониторинга, математическое моделирование, принципы моделирования

THE QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELING IN TASKS OF SAFETY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

E.S. Kalinina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The basic principles of mathematical modeling of information systems for monitoring complex technical systems with the purpose of ensuring their safe operation are considered. For solving problems of analysis and management of different types of risks of complex technical systems is proposed using a combination of mathematical models depending on the level of the hierarchy, the degree of decomposition of the system, and the goals and objectives of the study.

Keywords: complex technical system, information systems for monitoring, mathematical modeling, principles of modeling

Во второй половине XX в. сформировался особый класс объектов техносферы – сложные технические системы (СТС), характерными особенностями которых являются большое число составных элементов, сложная структурная и функциональная иерархия, большая энерговооруженность и значительный разрушительный потенциал [1]. Типичными примерами подобных систем служат энергосистемы, объекты нефтегазовой, угольной и химической промышленности, системы релейной защиты и автоматики, системы управления ядерными реакторами, военные системы, системы обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, средства обеспечения безопасности судоходства и др.

Несмотря на высокие стандарты обеспечения безопасности СТС, по мере увеличения их доли в техносфере, отмечается неуклонный рост числа и тяжести аварий и катастроф. Происходит качественное изменение техногенных угроз – они охватывают все сферы жизнедеятельности и их масштабы уже сравнимы с масштабами природных стихийных бедствий.

В настоящее время одним из ведущих направлений в деятельности МЧС России является обеспечение безопасности объектов на основе управления рисками [2]. Каждую сложную систему, как правило, характеризует множество различных по своей природе рисков, способных нарушить нормальный процесс функционирования этой системы, ее устойчивого, сбалансированного и безопасного развития. Управление рисками подразумевает разработку и реализацию такого комплекса мероприятий, который позволил

бы снизить значения большинства рисков, присущих данному объекту защиты, до максимально возможных уровней на данном этапе развития [3].

Неотъемлемыми составными частями современных СТС являются информационные системы мониторинга (ИСМ). ИСМ предназначены для сбора и анализа параметров существенных свойств СТС, определяющих их состояние, с целью формирования оценки состояния с точки зрения возникновения различных видов рисков, прогнозирования траектории состояний и выработки управляющих воздействий для стабилизации функционирования и снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций [4].

Решение задач оценки, прогнозирования, контроля и управления различными видами рисков в значительной степени зависит от математического и алгоритмического обеспечения информационных систем мониторинга СТС. Поэтому вопросы математического моделирования в задачах безопасности сложных технических систем приобретают все более актуальный характер.

При использовании методов математического моделирования в задачах проектирования и исследования систем мониторинга СТС с целью обеспечения их безопасности возникает ряд проблем, обусловленных большой размерностью задач и необходимостью учета множества факторов, присущих сложным системам и влияющих на качество принимаемых решений.

В первую очередь необходимо разрешить основное противоречие между требованиями простоты модели и ее адекватностью исследуемой системе. Требование простоты математической модели обусловлено необходимостью построения модели, которая может быть исследована доступными методами и средствами. Требование адекватности означает соответствие модели оригиналу, характеризуемое степенью близости свойств модели и реальной системы. Попытка построить единую универсальную модель ИСМ СТС обречена на неудачу, ввиду ее необозримости и невозможности достоверных расчетов.

Математическое моделирование ИСМ, которые, в свою очередь, являются сложными системами, должно базироваться на ряде принципов, обеспечивающих корректность и достоверность результатов моделирования и, в конечном счете, качественное проектирование систем. Среди них можно выделить три основных принципа [5]:

- системного подхода;
- множественности моделей;
- иерархического многоуровневого моделирования.

Системный подход лежит в основе математического моделирования любых сложных систем и обеспечивает проектирование, направленное на построение системы с заданными свойствами и качеством. Системный подход основан на том факте, что даже если каждый элемент или подсистема имеют оптимальные конструктивные либо функциональные характеристики, результирующее поведение системы может оказаться неадекватным вследствие влияния друг на друга отдельных ее частей [6]. Поэтому для решения задач проектирования ИСМ необходимо располагать знаниями о том, как влияют различные способы структурно-функциональной организации СТС на характеристики функционирования системы, то есть решать задачи системного анализа.

Принцип множественности моделей заключается, с одной стороны, в возможности отображения многих различных систем и процессов с помощью одной и той же модели и, с другой стороны, в возможности представления одной и той же системы множеством различных математических моделей в зависимости от целей и задач исследования. Использование этого принципа при проектировании ИСМ позволяет отказаться от подхода, когда для каждой исследуемой СТС разрабатывается своя модель, и предложить новый подход, при котором разрабатываются абстрактные математические модели разного уровня, используемые для проектирования и исследования ИСМ различных классов. При этом задача моделирования сводится к грамотной параметризации моделей и интерпретации полученных результатов [5].

Третий основополагающий принцип моделирования ИСМ, принцип иерархического многоуровневого моделирования, основан на иерархическом описании исследуемой СТС и протекающих в ней процессов. При этом система представляется совокупностью математических моделей, каждая из которых описывает поведение системы и протекающие в ней процессы с точки зрения различных уровней абстрагирования, отличающихся рядом характеристик и параметров. Количество уровней иерархии зависит от сложности проектируемой системы.

Применительно к моделям ИСМ сложных технических систем с дискретным характером функционирования выделяется два основных вида иерархии:

- по вертикали, в которой деление математических моделей по уровням осуществляется в зависимости от структурно-функциональных особенностей СТС;

- по горизонтали, в которой деление математических моделей по уровням осуществляется в зависимости от методов моделирования, целей и задач исследования [5].

В иерархии по вертикали, в общем случае, можно выделить три основных уровня моделей [5]:

- базовых моделей, содержащий простейшие математические модели, на основе которых строятся и могут быть рассчитаны другие, более сложные модели последующих уровней;

- локальных математических моделей, отображающих отдельные особенности структурно-функциональной организации СТС и позволяющих решать частные задачи анализа, оценки, прогнозирования различных видов рисков;

- глобальных математических моделей – моделей с высокой степенью детализации, наиболее полно отображающих структурные и функциональные особенности организации исследуемых СТС и являющихся основой для выработки управляющих воздействий.

Основные показатели безопасности СТС относятся к вероятностным категориям, что обуславливает необходимость применения, при проектировании и исследовании ИСМ, стохастических (вероятностных) моделей. При этом наиболее широкое применение получили аналитические, численные, имитационные и смешанные (гибридные) методы моделирования.

В иерархии по горизонтали в зависимости от методов моделирования выделяются следующие основные уровни математических моделей [5]:

- поддающиеся точному расчету, позволяющему получить результаты либо аналитически в явном виде, либо численно;

- поддающиеся приближенному аналитическому расчету с требуемой точностью, причем результаты могут быть получены либо в явном виде, либо в виде интервала;

- требующие применения статистических методов расчета;

- основанные на имитационном моделировании [7];

- использующие смешанные (гибридные) аналитико-имитационные методы расчета.

Базовые математические модели допускают применение точных аналитических и численных методов и позволяют получить результат в явном виде. Локальные математические модели обычно предполагают применение имитационных методов. Глобальные модели строятся на основе базовых и локальных моделей, и наряду с перечисленными методами моделирования могут использовать смешанные аналитико-имитационные методы [5].

Иерархия по горизонтали, в зависимости от целей и задач исследования, включает два основных уровня:

- специальных математических моделей, предназначенных для решения частных задач мониторинга конкретной СТС;

- общих математических моделей, предназначенных для решения типовых задач мониторинга.

Таким образом, на практике, при проектировании и исследовании ИСМ, наиболее эффективным является комбинированный подход к моделированию, основанный

на применении на различных этапах проектирования (исследования) разных математических моделей, алгоритмов и методов. Так, например, на этапах анализа свойств системы и синтеза в соответствии с заданным критерием эффективности оптимальной системы целесообразно использовать аналитические и численные методы моделирования. Имитационное моделирование обычно используется для аттестации приближенных методов и детального анализа свойств и потенциальных возможностей спроектированной системы на моделях большой сложности, а также с целью разработки на основе полученных результатов приближенных и эвристических методов расчета [8].

Взаимодействие моделей разных уровней иерархии осуществляется путем пересчета характеристик, полученных на одном уровне, в параметры модели, используемой на другом (соседнем) уровне [5]. На каждом уровне может использоваться множество различных моделей. Состав моделей каждого уровня зависит от структурно-функциональной организации системы, целей и задач исследования. Последнее также определяет степень детализации моделей одного и того же уровня.

Реализация принципа иерархического многоуровневого моделирования базируется на структурно-функциональной декомпозиции исследуемой системы, направленной на выделение и исследование наиболее существенных аспектов структурно-функциональной организации. Структурно-функциональная декомпозиция систем позволяет на разных этапах исследования использовать модели разных уровней: на этапе функционального проектирования – базовые модели, на этапе структурного проектирования – локальные модели и на завершающем этапе структурно-функционального проектирования – глобальные модели [8].

Таким образом, математическая модель ИСМ образуется композицией математических моделей элементов и взаимодействий между ними в зависимости от уровня иерархии, степени декомпозиции системы, а также целей и задач проводимого исследования. При этом на любом уровне иерархии сложная система представляется в виде множества подсистем и образующихся между ними связей, а также совокупности протекающих процессов. В общем случае уравнения математических моделей связывают физические величины, которые характеризуют состояние объекта защиты и относятся к выходным, внутренним и внешним параметрам [5].

Рассмотренный подход к математическому моделированию обеспечивает формирование информационных систем мониторинга, позволяющих комплексно оценить различные виды рисков, достаточно точно прогнозировать возможные сценарии развития чрезвычайных ситуаций и существенно повысить безопасность СТС.

Следует отметить, что обеспечение безопасности СТС является ярко выраженной междисциплинарной проблемой, в связи с чем большое значение при организации обучения в вузах МЧС России имеет интеграция математических, естественнонаучных, специальных дисциплин и информационных технологий. Особая роль здесь отводится математическим дисциплинам, которые позволяют формировать навыки применения математических моделей и методов при решении профессиональных задач [9].

Литература

1. Лепихин А.М., Москвичев В.В., Доронин С.В. Надежность, живучесть и безопасность сложных технических систем // Вычислительные технологии. 2009. Т. 14. № 6. С. 58–70.
2. Пучков В.А. О долгосрочных перспективах развития системы МЧС России // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10. № 1. С. 6–15.
3. Управление безопасностью сложных систем: методология, технологии, опыт / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 6. 2002. С. 22–47.
4. Щербань А.Б. Диагностика критически важных объектов на основе идентификационного структурного анализа их состояний // Надежность и качество сложных систем. 2015. № 1 (9). С. 77–84.

5. Алиев Т.И. Исследование сложных систем на основе комбинированного подхода // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докладов I Всерос. науч.-практ. конф. ИММОД-2003. Т. 1. СПб., 2003. С. 50–55. URL: <http://www.gpss.ru/immod%2703/009.html> (дата обращения: 30.10.2017).

6. Калинина Е.С. Применение математических методов в задачах проектирования сложных технических систем // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. С. 64–69.

7. Власов Д.А., Синчуков А.В. Дидактические особенности применения пакета имитационного моделирования ITHINK в системе подготовки бакалавров экономики // Современные информационные технологии и ИТ-образование: сб. науч. трудов. Моск. гос. ун-та им. М.В. Ломоносова. 2015. С. 295–299.

8. Алиев Т.И. Задачи и методы проектирования дискретных систем: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербур. нац. исслед. ун-т информ. технол., механики и оптики, 2015. 127 с.

9. Власов Д.А., Синчуков А.В. Новое содержание прикладной математической подготовки бакалавра // Преподаватель XXI век. 2013. Т. 1. № 1. С. 71–79.