

О различных подходах к исследованию вероятностных характеристик надёжности информационно-вычислительных сетей

Е.И. СУКАЧ¹, Е.И. КАРАСЁВА², Ю.В. ЖЕРДЕЦКИЙ¹, М.А. БУЖАН¹

Изложены известные подходы к оценке вероятностных свойств информационно-вычислительных сетей. Выделены особенности информационно-вычислительных сетей, как объекта исследования. Отмечены преимущества вероятностно-алгебраического метода моделирования выделенного класса систем, обеспечивающего точную оценку вероятностных свойств исследуемых объектов для различных способов формализации и типов структур.

Ключевые слова: информационно-вычислительная сеть, надёжность, структурный подход, вероятностно-алгебраическая модель.

Known approaches to assessing the probability properties of information networks are presented. Features of information networks, as an object of study are selected. Advantages of probability-algebraic simulation method of the selected class of systems providing accurate assessment of the probability properties of the objects for various ways of formalization and different types of structures are marked.

Keywords: information network, reliability, structural approach, probability-algebraic model.

Введение. Информационно-вычислительная сеть (ИВС) представляет собой коммуникационную сеть, в узлах которой генерируется, перерабатывается, хранится и используется информация. В качестве узлов сети выступает различного вида вычислительное оборудование, представляющее собой устройства отправки, обработки и приёма информации, а также измерительное и исполнительное оборудование автоматизированных систем, для которых сеть является информационно-советующим звеном, позволяющим совершенствовать процесс управления. Транспортировка данных происходит с помощью средств, объединяемых термином среда передачи данных. Выбор состава вычислительного оборудования и их структурной организации обеспечивает успех создания и надёжность эксплуатации ИВС в целом.

Как правило, надёжность таких систем определяется надёжностью составляющих их элементов, а надёжность элементов задается временем наработки на отказ или вероятностью отказа за определённый период времени. Показатели надёжности функционирования структурных элементов и ИВС в целом могут быть получены в результате проведения натуральных экспериментов с объектами исследования либо путём получения необходимой информации от экспертов, имеющих опыт с подобными объектами. Одновременно с этим существует ряд методов расчёта надёжности, которые представляют собой альтернативные способы вероятностной оценки надёжности графовых структур, являющихся образом исследуемых ИВС, по вероятностным характеристикам надёжности их элементов.

В статье отмечаются общие свойства ИВС, как объекта моделирования, анализируются возможности и ограничения известных методов расчёта вероятностных характеристик надёжности ИВС, излагаются свойства вероятностно-алгебраического моделирования, обеспечивающего точную оценку вероятностных свойств исследуемых объектов для различных способов формализации и типов структур.

Описание объекта исследования. ИВС характеризуются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при выборе метода оценки надёжности их организации, а именно: большая размерность; многоуровневый составной характер функционирования; слабая структурированность теоретических и фактических знаний; стохастический характер происходящих в системе процессов; влияние неконтролируемых факторов, выводящих объект из устойчивого состояния.

Большая размерность ИВС обуславливает потребность в специальных методах расчёта их надёжности, способах моделирования и средствах анализа результатов. Только их единство в виде средств автоматизации гарантирует решение проблемы размерности и обеспечи-

вает анализ надежности с приемлемым для практики уровнем точности описания процессов, характеризующих систему. При этом допускается как переменность состава элементов ИВС, так и переменность их структуры.

Многоуровневый составной характер ИВС вытекает из сложности объекта исследования. Для описания исследуемых систем приходится использовать понятие подсистемы, как некоторой автономной части всей системы. Выделенные подсистемы в свою очередь могут быть разбиты на ряд более мелких подсистем в зависимости от особенностей исследуемого типа ИВС. В результате формируется некоторое множество элементов ИВС. Реальное выделение подсистем и элементов зависит от взглядов исследователя на изучаемый объект и стоящих перед ним задач.

Для обеспечения устойчивости функционирования всей системы как целого приходится учитывать результат воздействия одной подсистемы на другую и их взаимодействие с внешней средой.

Слабая структурированность теоретических и фактических знаний о процессах ИВС, обусловлена уникальностью реальных исследуемых систем. В связи с этим процесс накопления и систематизации знаний о поведении реальных систем затруднен. Например, данные, собранные при эксплуатации одной системы, будут лишь частично пригодны при проектировании другой системы. Сюда же следует отнести слабую изученность ряда процессов, связанную с изменениями, происходящими во внешней среде, и значительным влиянием человеческого фактора. Следствием этого, в частности, является необходимость использования ансамбля моделей при анализе реальной системы. При этом модели могут отражать как разные стороны функционирования исследуемых систем, так и разные уровни отображения исследователем одних и тех же процессов.

Стохастический характер происходящих в системе процессов обусловлен случайностью и неопределенностью факторов, влияющих на функционирование ИВС. Примерами подобных факторов могут служить случайные времена изменений, происходящих с элементами систем, неравномерность нагрузки, приходящейся на каждый из элементов и др. Их учет приводит к резкому усложнению задач и увеличивает трудоемкость исследований, делая необходимым получение представительных наборов статистических данных.

К неконтролируемым факторам, выводящим ИВС из устойчивого состояния, относятся изменения параметров внешней среды, способные привести к изменениям параметров функционирования исследуемых объектов, временные изменения в структуре исследуемого объекта, вызванные нарушениями в работе его отдельных участков. Выступая в качестве элементов сетевых структур, как каналы передачи данных, так и узлы могут вероятностным образом изменять свои свойства (надёжность, пропускную способность, производительность и др.), что отражается на указанных свойствах всей сети и определяет способы оценки надёжности исследуемых объектов.

Методы расчёта надёжности информационно-вычислительных сетей. Удобным способом формализации ИВС является их представление в виде графов различной структурной сложности, в которых ребра описывают каналы передачи данных, а вершины являются образом вычислительного оборудования (компьютеров). Указанный способ описания ИВС и перечисленные особенности ИВС как объекта исследования, даёт возможность применить к исследованию их характеристик методы теории графов, а представление объектов в символьном виде позволяет применить к ним различные программные методы, играющие роль механизма принятия решения [1]–[3].

Неоднородность, которая выражается в разных уровнях надёжности ИВС, при формализации может проецироваться как на вершины, так и на рёбра графа. Отсюда следуют разграничения в схемах формализации, методах и, соответственно, в программном инструментарии, предназначенном для расчёта вероятностных характеристик надёжности ИВС. В расчётах по надёжности сетевых структур обычно делается выбор одного из видов элементов, вероятностные характеристики надёжности которого влияют на надёжность сети в целом.

Одно из направлений оценки надёжности сетевых структур, при котором учитываются вероятностные характеристики каналов передачи данных (рёбер), составляют логико-вероятностные методы [4]–[7], оперирующие в основном двумя вероятностными состояниями

ми элементов (работа/отказ). При этом их возможности ограничены числом элементов, составляющих сетевую структуру, как в случае рассмотрения структурно-простых систем (без циклов и повторений), так и в случае структурно-сложных систем. Более того, в ряде случаев, исследуемые структурно-простые системы со множеством состояний, определяющих различные уровни надёжности, относят к классу структурно-сложных.

Альтернативным способом оценки сетевой надёжности ИВС является подход, при котором вероятностно изменяется надёжность узлов (вершин), а каналы передачи данных считаются абсолютно надёжными [8]. Из примеров, приведенных в статье, можно заключить, что метод ориентирован на исследование структурно-простых систем, оперирующих вероятностными характеристиками, как правило, двух состояний элементов, которые, кроме того, не отличаются по величине вероятностей для всех элементов сетевой структуры. Для рассмотрения вероятностной динамики сетей, используется лишь один вид распределения, используемый с целью аппроксимации данных – распределение Вейбулла. Очевидно, что указанные ограничения значительно снижают применение метода при решении практических задач оценки надёжности, при которой вероятностно изменяется надёжность узлов.

Свойства вероятностно-алгебраического метода моделирования. Метод вероятностно-алгебраического моделирования (ВАЛМ) [9] является универсальным в смысле формализации ИВС при оценке их надёжности. Он обеспечивает получение вероятностной оценки надёжности исследуемой структуры, как в случае вероятностного изменения надёжности каналов передачи данных (схема формализации «элементы-рёбра»), так и в случае вероятностных изменений надёжности компьютеров (схема формализации «элементы-вершины»), взаимосвязанное функционирование которых обеспечивает работу ИВС.

Поскольку любую сетевую структуру с ненадёжными рёбрами всегда можно преобразовать в сетевую структуру с ненадёжными вершинами, но не всякая сеть с вероятностно-ненадёжными узлами может быть преобразована в структуру с ненадёжными рёбрами, то представление исследуемой системы в виде сетевой структуры с вероятностными характеристиками надёжности узлов является более общим и, в этом смысле, универсальным.

А поскольку работа метода ВАЛМ основана на теоретически обоснованном алгебраическом аппарате, вследствие чего метод является универсальным (практически не имеет ограничений) по ряду признаков: числу элементов; числу состояний; составу используемых функций, описывающих отношения между элементами; единому подходу при решении дискретных задач и исследований непрерывных процессов, то формализация ИВС с использованием схемы «элементы-вершины», объединяет в себе возможности двух известных подходов и расширяет класс решаемых задач [10].

Кроме этого, метод является универсальным в смысле исследования сетей различной структурной организации. Для структурно-простых систем сняты ограничения на число элементов, составляющих систему, и число их возможных состояний. Для структурно-сложных систем в рамках вероятностно-алгебраического подхода реализована методика расчёта надёжности многоэлементных систем со многими состояниями, основанная на сведении моделей с произвольным числом состояний к расчётным бинарным моделям [11]. Следует отметить, что оценка надёжности ИВС с использованием одного из логико-вероятностных методов [4]–[7] на очередных итерациях расчёта бинарных моделей значительно упрощает получение точного решения и в целом сокращает сложность расчётов надёжности ИВС со многими состояниями.

Если говорить об аппроксимации эмпирических данных, описывающих надёжность элементов, составляющих исследуемую ИВС, графическим представлением которой является сетевая структура, то в отличие от подхода, изложенного в [8], метод ВАЛМ допускает представление вероятностных изменений состояний элементов различными законами распределения и формирование итоговой характеристики надёжности не только в числовом, но и в символьном виде [12].

Наконец, в отличие от подходов к оценке надёжности сетевых структур, изложенных в [4]–[8], ВАЛМ допускает рассмотрение ИВС в динамике [13]. Динамическое ВАЛМ реализуется многошаговой итерационной процедурой, включающей статическое вероятностно-алгебраическое моделирование на каждой итерации, соответствующее взаимодействию неза-

висимых элементов, и динамическое управление, позволяющее учесть при моделировании эволюционную зависимость элементов. При этом считается, что элементы одномоментно функционируют независимо друг от друга, изменяют свои параметры надёжности во времени, которые корректируются в дискретные моменты времени, установленные в соответствии с выбранным шагом моделирования.

В процессе моделирования осуществляется контроль реализации вероятностно-алгебраической модели в пошаговом режиме через заданные интервалы времени, при котором просматривается множество управляющих правил вида «if , then...», позволяющих повысить уровень адекватного описания исследуемой ИВС. На каждой итерации проверяются текущие вероятностные характеристики надёжности системы на соответствие допустимым границам её изменения, обеспечивающей заданный уровень эффективного функционирования системы.

В случае нахождения вероятностных характеристик в допустимых границах процесс моделирования продолжается. При нарушении допустимых пределов изменения вероятностных параметров надёжности элементов или всей системы, генерируются управляющие воздействия, изменяющие параметры элементов, модифицирующие структуру модели системы либо останавливающие ход моделирования. После реализации корректирующих воздействий управляющей программы моделирования процесс моделирования продолжается. При этом на каждом шаге моделирования производится запись полученных характеристик системы в информационную базу данных системы вероятностно-алгебраического моделирования, реализующей расчёты.

Использование встроенного управления параметрами моделирования, позволяет провести сравнительный анализ стратегий управления и выбрать из них ту, которая будет давать лучшие результаты в смысле установленных критериев надёжности функционирования систем.

Заключение. Многообразие подходов к оценке надёжности ИВС свидетельствуют об актуальности области исследований и востребованности перечисленных методов при решении практических задач проектирования и эксплуатации надёжно функционирующих ИВС в условиях вероятностным образом изменяющихся характеристик надёжности их элементов. Логико-вероятностные методы и средства их автоматизации апробированы практикой и являются основным средством расчёта надёжности и безопасности систем из различных предметных областей [14]. Методы вероятностно-алгебраического моделирования ИВС и программное обеспечение их автоматизирующее представляют собой рабочий инструмент, позволяющий учесть вероятностную природу как узлов ИВС, так и каналов передачи данных, и решить следующие задачи:

- организовать и автоматизировать оперативный мониторинг за состоянием надёжности структурных элементов ИВС для различных вариантов нагрузки;
- классифицировать и сформировать вероятностные оценки возможных отказов, как отдельных элементов, так и всей ИВС;
- определить наиболее выгодное сочетание параметров надёжности структурных элементов ИВС, обеспечивающих заданный уровень надёжности и эффективности организации сети без изменения структурной организации сети;
- повысить уровень и, как следствие, скорость надёжного обслуживания пользователей ИВС;
- оценить варианты расширения сети по критерию надёжности организации без проведения натурных экспериментов с привлечением обслуживающего персонала.

Литература

1. Сукач, Е.И. Исследование эффективности распределенной системы обработки данных с помощью имитационного моделирования/ Е.И. Сукач// Вторая всероссийская конференция «Новые информационные технологии в исследовании дискретных структур» : сборник научных трудов. – Екатеринбург, 1998. – С. 138–143.

2. Максимей, И.В. Имитационное моделирование вычислительного процесса в узлах локальной сети / И.В. Максимей, О.М. Демиденко, И.В. Агеенко, Е.И. Сукач // Управляющие системы и машины (Control System and Computers). – 2000. – № 5/6. – С. 101–107.

3. Сукач, Е.И. Расширение метода логико-вероятностного моделирования сложных систем / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобильская, В.Н. Кулага // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды международной научной школы МА БР-2009, 7–11 июля 2009 г. – Санкт-Петербург : ГУАП. 2009. – С. 471–476.
4. Рябинин, И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2007. – 276 с.
5. Можаяев, А.С. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем / А.С. Можаяев, В.Н. Громов. – СПб. : Изд-во ВИТУ, 2000. – 217 с.
6. Соложенцев, Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике / Е.Д. Соложенцев. – Санкт-Петербург : Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004. – 216 с.
7. Карасёва, Е.И. ИТ-технологии для управления операционными рисками в банке/ Е.И. Карасёва // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды международной научной школы МА БР-2010, 6–10 июля 2010 г. – Санкт-Петербург : ГУАП, 2010. – С. 275-279.
8. Sahinoglu, M. Network reliability evaluation / M. Sahinoglu, R. Benjamin // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. – 2010. – Volume 2. – P. 189–211.
9. Сукач, Е.И. Метод вероятностно-алгебраического моделирования надёжности функционально-сложных систем / Е.И. Сукач // Информатика – 2010. – № 3. – С. 18–30.
10. Сукач, Е.И. Способ формализации объектов графовой структуры с вероятностными параметрами функционирования / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобильская, Ю.В. Жердецкий, Г.А. Мальцева // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2012. – № 5 (74). – С. 195–202.
11. Сукач, Е.И. Методика расчета показателей надежности многокомпонентных структурно-сложных систем со многими состояниями / Е.И. Сукач // Информатика. – 2011. – № 3. – С. 13–22.
12. Сукач, Е.И. Метод исследования функционально-сложных систем с использованием вероятностно-алгебраического моделирования/ Е.И. Сукач // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 116–123.
13. Сукач, Е.И. Автоматизированное вероятностно-алгебраическое моделирование надёжности сложных систем / Е.И. Сукач // Проблемы программирования. – 2011. – № 1. – С. 89–98.
14. Сукач, Е.И. Основные этапы исследований по разработке комплексной теории надежности и безопасности информационных систем / Е.И. Сукач, Е.И. Карасёва, Д.В. Ратобильская, Ю.В. Жердецкий // 14th International Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems. MA SR-2014» : труды Международной научной школы МА БР-2014, 18–20 ноября, 2014 г. – Санкт-Петербург : ГУАП-2014. – С. 325–326.

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения