

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

доктора технических наук, доцента Душкина Александра Викторовича  
на диссертацию Фокина Александра Борисовича  
«Оценка надежности телекоммуникационных сетей на основе инверсий  
их состояний», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по научной специальности  
2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**Актуальность темы.** В настоящее время телекоммуникационные сети обладают высокими скоростями передачи и пропускной способностью, вследствие чего, даже кратковременные отказы могут привести к потере большого объема передаваемого трафика, что естественно негативным образом скажется на качестве обслуживания (QoS). Для оператора постоянная доступность заданного набора вершин графа сети (двух-, все-, многополюсная) является необходимым условием функционирования сети. Следовательно, оператор должен решить задачу, связанную с определением надежности такой сети, чтобы с достаточной уверенностью и гарантиями, согласно соглашения об уровне обслуживания (SLA), предоставлять пользователям различные услуги связи. Эффективным инструментом борьбы с отказами в телекоммуникационных сетях являются механизмы обеспечения отказоустойчивости, которые в целом влияют и на надежность сети. Надежность сети оценивают по показателям, которые характеризуют устойчивость функционирования сети к отказам ее элементов. Обычно выделяют два аспекта надежности – структурная и элементная. Автор в работе провел анализ аспекта структурной надежности с помощью вероятностного показателя оценки – коэффициента готовности, аналитическим эквивалентом которого является вероятность связности.

Определение показателей надежности телекоммуникационной сети является трудноразрешимой полиномиальной задачей. Для ее решения применяются методы формирования множеств простейших подграфов, которые зачастую приводят к существенным временным и вычислительным затратам даже для сетей с небольшой размерностью, а с ростом размерности задача усложняется из-за огромного числа элементов в результирующем выражении. В тоже время, даже совершенные модификации расчетов вероятности связности (коэффициента готовности) на основе метода объединения с учетом эффекта поглощения, основанного на представлении события связности сети в виде сумм произведений несовместных событий

(SDP) и использующего многопеременную инверсию (MVI), свойственен недостаток, связанный с необходимостью сравнительного анализа каждого слагаемого со всеми ранее рассмотренными на предмет уникальности содержащихся ребер, что также является громоздким и трудоемким процессом. Помимо этого, существующий аппарат математического моделирования телекоммуникационных сетей, представленный отечественными и зарубежными специалистами, ориентирован на исследование структур сети типа «точка-точка», либо полносвязных, а многосвязные структуры, исследуются с ограничениями, хотя имеют широкое применение. Так же, существующие методы расчета надежности телекоммуникационных сетей не учитывают особенности методов резервирования с использованием механизмов обеспечения отказоустойчивости: защитного переключения (protection) и восстановления (restoration).

Вследствие этого, для определения точной оценки надежности телекоммуникационной сети необходимо решить задачу по разработке процедур формирования множеств простейших подграфов сети и методов расчетов вероятности связности (коэффициентов готовности) телекоммуникационной сети с учетом всех указанных особенностей.

Наличие указанной проблемы дает основание утверждать, что цель диссертационного исследования Фокина Александра Борисовича, а также сформулированная в ее рамках тема исследования, является актуальной.

**Оценка новизны и достоверности основных научных положений, выводов и рекомендаций.**

В качестве *новых научных результатов* автором выдвинуты:

1. Процедуры формирования множеств простейших подграфов телекоммуникационной сети для двух-, все- и многополюсной связностей.

2. Рекурсивная процедура приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий.

3. Методы расчета вероятностей связности (коэффициентов готовности) телекоммуникационной сети на основе многопеременных инверсий отрицаний пересечений событий связности или несвязности графа для различных типов связности сети.

4. Метод расчета вероятностей связности (коэффициентов готовности) телекоммуникационной сети, учитывающий реализованные механизмы обеспечения отказоустойчивости и эффекты дублирования элементов.

Основой диссертационного исследования является разработка методов расчета вероятностей связности телекоммуникационной сети на основе многопеременных инверсий отрицаний пересечений событий связности (несвязности) графа для сетей всех типов связности с применением усовершенствованных (разработанных) процедур формирования множеств простейших подграфов и метода расчета вероятностей связности телекоммуникационной сети, поддерживающей механизмы обеспечения отказоустойчивости.

Особенность разработанных методов расчета вероятности связности телекоммуникационной сети на основе многопеременных инверсий отрицаний пересечений событий связности (несвязности) графа заключается в использовании подхода, основанного не на объединении событий связности (несвязности), которое вырождается в сумму несовместных произведений, а пересечение противоположных событий, приводящее также к подобной сумме, но для ее получения нет необходимости выполнять многопеременную инверсию для каждого из слагаемых над всеми ранее проанализированными. Для решения данной задачи предложена рекурсивная процедура приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий. Использование сечений исследуемого графа позволяет применить модификацию подхода, что приводит к существенному снижению вычислительной сложности.

Особенностью метода расчета вероятностей связности телекоммуникационной сети, поддерживающей механизмы обеспечения отказоустойчивости, является возможность метода учитывать применяемые в этой сети механизмы обеспечения отказоустойчивости – защитного переключения или динамического восстановления, а также обеспечить учет дублирования элементов на маршрутах.

В ходе проведения натурального эксперимента получены положительные результаты, заключающиеся в выигрыше по времени вычисления и уменьшении числа анализируемых подграфов по сравнению с ранее известными результатами других исследователей.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.** Основные научные положения, выводы и рекомендации диссертации получены как с помощью теоретических исследований, так и экспериментально.

Автор для обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций достаточно корректно использует известные научные методы, адекватные природе изучавшихся процессов. В диссертации проведен достаточно обширный анализ состояния вопроса, включая подробное рассмотрение имеющихся подходов в области оценки надежности сетей связи. При этом, автором изучены и критически анализируются известные подходы и теоретические положения отечественных и зарубежных авторов в области математического моделирования сетей, теории случайных графов, методов формирования множеств простейших подграфов и методов расчета надежности сетей. Эти работы достаточно полно отражают состояние исследуемой в диссертации проблемы.

Теоретическая состоятельность работы подтверждается непротиворечивостью полученных в исследовании результатов с данными, представленными в исследованиях других ученых, работающих в этой предметной области. Теоретические результаты исследования, в общем случае, не противоречат как полученным в ходе исследования результатам численных экспериментов, так и опыту эксплуатации существующих телекоммуникационных сетей.

**Общая характеристика работы.** Содержание диссертации соответствует теме исследования и паспорту научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки), полностью раскрыто, прослеживается логика и последовательность проводимого исследования, которое характеризуется аргументированностью основных положений. Частные научные задачи решены в полном объеме. Результаты и выводы, приведенные в диссертации, достаточно убедительны. Работа написана грамотным научным языком.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

**Апробация и публикация научных результатов.** Результаты диссертационной работы апробированы на научно-технических конференциях и опубликованы в научных статьях. Основные результаты работы были использованы и внедрены в расчетах ООО «Ассоциация специалистов по безопасности» и в учебный процесс кафедры «Информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева». Результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Основные положения диссертационного исследования отражены в 11 публикациях, в том числе: 6 – в ведущих рецензируемых научно-технических журналах, входящих в перечень ВАК, и 5 – в материалах международных и всероссийских конференций. По результатам исследований получен 1 патент на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Недостаточное количественное обоснование актуальности проведения представленного в тексте диссертации исследования. Материал первой главы в достаточно общем виде представляет предметные области функционирования телекоммуникационных сетей и в основном на качественном уровне обосновывает проблемные места – существенные временные и вычислительные затраты формирования множеств простейших подграфов, невозможность определения надежности сети для всех типов связности, невозможность учета в расчетах надежности применяемых методов резервирования. При этом количественный анализ не приводится.

2. В рамках второй главы (подпункты 2.2-2.7 Формирование множества...) представлены модифицированные процедуры формирования множеств простейших подграфов с реализацией предложенных процедур на примере последовательно-параллельных графов с небольшим количеством вершин. При этом не сказано, до какого предельного значения допустимых вершин процедуры будут эффективно работать.

3. В третьей главе (подпункт 3.1 Общий подход к расчету вероятности связности на основе инверсий состояний сети) недостаточно рассмотрен класс сложности решаемой задачи, определенный как «громоздкий и трудоемкий процесс...».

4. В четвертой главе (подпункт 4.2 Метод расчета вероятностей связности (коэффициентов готовности) телекоммуникационной сети, поддерживающей механизмы обеспечения отказоустойчивости) не представлен анализ известных (конкурирующих) результатов с применением других методов.

Однако, указанные недостатки не снижают значимости работы и носят преимущественно уточняющий и рекомендательный характер.

**Заключение.** Диссертация Фокина А.Б. представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему и содержащую новое решение важной научной задачи, имеющей важное значение для развития соответствующей отрасли знаний.

Исходя из содержания, диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней ...», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Фокин Александр Борисович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки).

#### ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

профессор кафедры «Информационная безопасность»  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»,  
доктор технических наук, доцент



Александр Викторович Душкин

Почтовый адрес (рабочий):  
124498, Россия, Москва, Зеленоград, Площадь Шокина, д. 1,  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»,  
кафедра «Информационная безопасность»  
Телефон рабочий: +7 (499) 740-92-13  
E-mail: a\_dushkin@mail.ru

Подпись Душкина А.В. удостоверяю.

Проректор по научной работе НИУ МИЭТ



С.А. Гаврилов