

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Проректор РГРТУ

по научной работе и инновациям

доктор техн. наук

С.И. Гусев

« 31 »

2019 г.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»

Диссертация «Методы и алгоритмы реконфигурирования параметров и структур мультипровайдерных сетей распределенных центров обработки данных» выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования вычислительных средств (САПР ВС).

В период подготовки диссертации соискатель Иванчикова Мария Александровна являлась очным аспирантом в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» и работала в должности ассистента кафедры САПР ВС.

В 2015 году Иванчикова М.А. с отличием окончила ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по специальности «Системы автоматизированного проектирования».

Научный руководитель – Корячко Вячеслав Петрович, заведующий кафедрой САПР ВС ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ.

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

**1. Конкретные научные результаты, полученные лично соискателем:**

– Разработана концептуальная модель процесса передачи, обработки и контроля данных в сетях распределенных ЦОД с учетом наличия в сетевой инфраструктуре нескольких провайдеров связи, представленная в виде задачи реконфигурирования параметров и структур в условии динамических изменений нагрузки, реальной пропускной способности каналов связи и коммутационного оборудования, а также числа обслуживающих провайдеров.

– Разработаны модифицированные методы и алгоритмы конфигурирования параметров сетей распределенных ЦОД, учитывающие наличие в сетевой инфраструктуре нескольких провайдеров связи.

– Разработан метод и алгоритм реконфигурирования параметров мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах,

позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Разработан метод и алгоритм масштабирования структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах, позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Разработан метод и алгоритм обеспечения отказоустойчивости структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах, позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Разработана программная система реконфигурирования параметров и структур, позволяющая повысить эффективность и надежность процессов передачи, обработки и контроля данных в мультипровайдерных сетях распределенных ЦОД.

## **2. Достоверность полученных результатов подтверждается:**

– математическими обоснованиями и доказательствами, корректным использованием теоретических выводов, компьютерным моделированием, а также сравнением полученных результатов с рассчитанными параметрами;

– экспериментальными данными, полученными с привлечением результатов исследований и научных положений, разработанных автором;

– разработкой действующей программной системы реконфигурирования параметров и структур мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД, подтвержденной соответствующими свидетельствами о регистрации программы для ЭВМ в РОСПАТЕНТ (ФГУ «ФИПС»);

– наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

## **3. Научная новизна результатов:**

В диссертации содержится решение актуальной научной задачи повышения эффективности, надежности и контроля функционирования мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД за счет разработки новых моделей, методов и алгоритмов реконфигурирования параметров и структур, обеспечивающих сокращение времени построения схем оптимальных маршрутов и снижение стоимости сети в условии динамических изменений нагрузки, реальной пропускной способности каналов связи и коммутационного оборудования, а также числа обслуживающих провайдеров.

Научная новизна сформулирована в положениях, изложенных ниже.

– Концептуальная модель процесса передачи, обработки и контроля данных в сетях распределенных ЦОД с учетом наличия в сетевой инфраструктуре нескольких провайдеров связи, представленная в виде задачи реконфигурирования параметров и структур в условии динамических изменений нагрузки, реальной пропускной способности каналов связи и коммутационного оборудования, а также числа обслуживающих провайдеров.

– Модифицированные методы и алгоритмы конфигурирования параметров сетей распределенных ЦОД, учитывающие наличие в сетевой инфраструктуре нескольких провайдеров связи.

– Метод и алгоритм реконфигурирования параметров мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах, позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Метод и алгоритм масштабирования структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах, позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Метод и алгоритм обеспечения отказоустойчивости структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД на основе данных о парных переходах, позволяющий сократить время формирования схем оптимальных маршрутов и снизить общую стоимость обслуживания по сравнению с известными аналогами.

– Программная система реконфигурирования параметров и структур, позволяющая повысить эффективность и надежность процессов передачи, обработки и контроля данных в мультипровайдерных сетях распределенных ЦОД.

#### **4. Практическая значимость и научная ценность результатов:**

Разработанные в диссертационной работе алгоритмы реконфигурирования параметров и структур предназначены для применения в мультипровайдерных сетях ЦОД и реализованы в виде программ, загружаемых в маршрутизаторы. Алгоритм реконфигурирования параметров мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД позволяет формировать дерево оптимальных маршрутов и реконфигурировать параметры сети в условиях динамического изменения стоимости каналов связи на основе информации о парных переходах. Алгоритм масштабирования структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД позволяет обеспечить гибкость развертывание сети ЦОД и динамическую реконфигурацию ее структуру в зависимости от текущих потребностей пользователей, а также сократить вычислительную сложность построения таблиц маршрутизации до величины  $O(kmN^2)$  за счет частичного перестройки структуры сети ЦОД. Алгоритм обеспечения отказоустойчивости структуры мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД позволяет обеспечить динамическую реконфигурацию структуры сети ЦОД при отказах сетевых компонентов и снизить вычислительную сложность построения таблиц маршрутизации до величины  $O(kmN^2)$  за счет частичного перестройки таблиц маршрутизации.

Исследования по диссертационной работе проводились в рамках фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» по НИР 2-14Г «Разработка и развитие моделей, алгоритмов и технологии динамического управления маршрутами передачи данных программино-конфигурируемых телекоммуникационных сетей», НИР 7-16Г «Разработка и развитие моделей, методов и алгоритмов многопутевой адаптивной

маршрутизации и балансировки потоков данных программно-конфигурируемых компьютерных сетей с обеспечением качества обслуживания сетевых сервисов», НИР 2-19Г «Разработка и развитие методов, алгоритмов и инструментальных средств построения программно-конфигурируемых цифровых облачных платформ интеллектуальной обработки больших массивов данных». Тематика диссертационной работы и проводимые научные исследования поддержаны стипендией Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетному направлению модернизации российской экономики «Стратегические информационные технологии, включая вопросы создания суперкомпьютеров и разработки программного обеспечения» (СП-505.2016.5) и грантом Фонда Содействия инновациям по программе «УМНИК».

Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены и используются в учебном процессе и НИР ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина» (РГРТУ) в лекционных курсах и лабораторном практикуме по дисциплинам «Сети и телекоммуникации» и «Распределенные информационные системы» по направлению 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника», а также в инженерной практике компании АО «ЭР-Телеком Холдинг» (Дом.ru) в составе единой инфраструктуры компьютерных сетей приобретенных провайдеров связи Рязанского региона.

Получено 6 авторских свидетельств о регистрации программ для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» (РОСПАТЕНТ).

**5. Диссертация Иванчиковой М.А. соответствует требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней: при использовании заимствованных материалов в диссертации сделаны ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе на научные работы, выполненные Иванчиковой М.А. лично или в соавторстве.**

**6. Содержание диссертационной работы Иванчиковой М.А. соответствует п.1, п.2, п.5 и п.6 паспорта специальности 05.13.15 – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети».**

**7. Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в следующих работах соискателя:**

По теме диссертации опубликовано 60 печатных работ, в том числе: 8 статей в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК; 11 статей в изданиях, входящих в международные базы научного цитирования Web of Science и Scopus; 8 статей в научно-технических журналах и межвузовских сборниках научных трудов; 27 докладов на международных и всероссийских научных конференциях; 6 авторских свидетельств о регистрации программы для ЭВМ в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (ФГБУ «ФИПС», РОСПАТЕНТ).

## Статьи в изданиях из перечня ВАК

1. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Алгоритм адаптивной маршрутизации в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2013. – № 2 (44). – С. 52-56.

*Иванчиковой М.А. принадлежит разработка концептуальной модели и модифицированного алгоритма адаптивной маршрутизации в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи.*

2. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Алгоритм парных переходов каналов связи при динамическом изменении нагрузки в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи с различными зонами покрытия // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2014. – № 48. – С. 68-76.

*Иванчиковой М.А. принадлежит разработка метода и алгоритма парных переходов в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи с различными зонами покрытия абонентов.*

3. Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Разработка программного обеспечения моделирования процессов адаптивной маршрутизации в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи с различными зонами покрытия абонентов // Программная инженерия. – 2015. – № 11. – С. 34-40.

*Иванчикова М.А.. разработала программную систему реконфигурирования параметров корпоративных сетей нескольких провайдеров связи.*

4. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Разработка и исследование алгоритма быстрой перемаршрутизации трафика между центрами обработки данных // Радиотехника. – 2016. – № 8. – С. 133-139.

*Иванчиковой М.А. принадлежит разработка концептуальной модели процесса передачи, обработки и контроля данных в сетях распределенных ЦОД с учетом наличия в сетевой инфраструктуре нескольких провайдеров связи.*

5. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А., Бышов В.С., Цыганов И.Ю. Алгоритмы адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на основе протокола OpenFlow // Радиотехника. – 2017. – № 5. – С. 131-137.

*Иванчикова М.А. выполнила программную реализацию алгоритмов адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях на основе протокола OpenFlow.*

6. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А., В.С. Бышов, И.Ю. Цыганов. Программная инфраструктура и визуальная среда распределенной обработки потоков данных в программно-конфигурируемых сетях // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 3 (65). – С. 44-54.

*Иванчикова М.А. разработала алгоритмы и программно-инструментальные средства распределенной обработки потоков данных в ПКС.*

7. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А., В.С. Бышов. Визуальная веб-ориентированная среда динамического управления потоками данных в кампусных программно-конфигурируемых сетях // Моделирование и анализ информационных систем. – 2019. – Т. 26. – № 1. – С. 63-74.

*Иванчикова М.А. разработала визуальную среду динамического управления потоками данных в кампусных программно-конфигурируемых сетях.*

8. Корячко В.П., Перепелкин Д.А., Иванчикова М.А. Разработка программного инструментария реконфигурирования параметров мультипровайдерных сетей распределенных центров обработки данных // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2019. – № 68.

*Иванчикова М.А. разработала алгоритм и программную систему реконфигурирования параметров мультипровайдерных сетей распределенных ЦОД.*

#### **Статьи в изданиях, включенных в международные базы Web of Science и Scopus**

9. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A., “Adaptive Accelerated Routing between Data Centers Based on Paired Shifts Data”, Proceedings MECO 2016 – IEEE 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2016), 2016, pp. 256-259. DOI: 10.1109/MECO.2016.7525754.

*Иванчикова М.А. предложила разработку математической модели и усовершенствованного алгоритма адаптивной ускоренной маршрутизации в мультипровайдерных сетях распределенных центров обработки данных.*

10. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A., Byshov V.S., Tsyganov I.Yu., “Analysis QoS Metrics in Software Defined Networks”, Proceedings MECO 2017 – IEEE 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2017), 2017, pp. 374-378. DOI: 10.1109/MECO.2017.7977240.

*Иванчикова М.А. провела исследование параметров качества сервиса в программно-конфигурируемых сетях.*

11. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A., “Adaptive Rerouting of Data Flows in Distributed Data Centers”. Microprocessors and Microsystems, 2017, vol. 52, pp. 505-509. DOI: 10.1016/j.micpro.2017.05.009.

*Иванчикова М.А. разработала алгоритм быстрой перемаршрутизации потоков данных в мультипровайдерных сетях распределенных центров обработки данных.*

12. Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A., “Improved Adaptive Routing Algorithm in Distributed Data Centers”. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 2017, Vol. 15, No. 3, pp. 502-508. DOI: 10.15598/aeee.v15i3.2185.

*Иванчикова М.А. разработала алгоритм масштабирования структуры мультипровайдерных сетей распределенных центров обработки данных.*

13. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A., Byshov V.S., Tsyganov I.Yu. “Visual Web-Oriented Environment for Dynamic Control of Data Flow in Campus SDN” / D. A. Perepelkin, M. A. Ivanchikova. MoNeTeC 2018 – 2018 International Scientific and Technical Conference Modern Computer Network Technologies (MoNeTeC), 2018, pp. 1-4, DOI: 10.1109/MoNeTeC.2018.8572166.

*Иванчиковой М.А. принадлежит разработка архитектуры веб-ориентированной среды распределенной обработки потоков данных в ПКС.*

14. Koryachko V.P., Perepelkin D.A., Ivanchikova M.A. “Software System of Multipath Adaptive Routing in Networks of Distributed Data Centers” / V. P. Koryachko, D. A. Perepelkin,

M. A. Ivanchikova. Proceedings MECO 2019 – IEEE 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2019), 2019.

*Иванчикова М.А. разработала модифицированный алгоритм и программную систему многопутевой адаптивной маршрутизации в мультипровайдерных сетях распределенных центров обработки данных.*

#### **Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ**

15. Иванчикова М.А. Система динамического управления трафиком в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663706. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 28.12.2015, заявка № 2015619241.

16. Иванчикова М.А. Система быстрой перемаршрутизации трафика в корпоративных сетях нескольких провайдеров связи с различными зонами покрытия абонентов / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662155. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 18.11.2015, заявка № 2015619239.

17. Иванчикова М.А. Модуль адаптивной маршрутизации в программенно-конфигурируемых сетях на базе протокола OpenFlow / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612646. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 02.03.2017, заявка № 2016660590.

18. Иванчикова М.А. Модуль многопутевой маршрутизации в программенно-конфигурируемых сетях на базе протокола OpenFlow / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612645. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 02.03.2017, заявка № 2016660593.

19. Иванчикова М.А. Программный модуль классификации и обработки данных программенно-конфигурируемых сетей / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова, А.Н. Сапрыкин, Е.Н. Сапрыкина. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660016. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 15.08.2018, заявка № 2018617742.

20. Иванчикова М.А. Библиотека операторов модифицированного генетического алгоритма для поиска соответствий в программенно-конфигурируемых сетях / Д.А. Перепелкин, М.А. Иванчикова, А.Н. Сапрыкин, Е.Н. Сапрыкина. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018660017. Зарегистрировано в РОСПАТЕНТ 15.08.2018, заявка № 2018617744.

Диссертация Иванчиковой М.А. отвечает критериям п. 9 Положения о порядке присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям: является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые методы и алгоритмы реконфигурирования параметров и структур мультипровайдерных сетей распределенных центров обработки данных, имеющие важное значение в области вычислительных систем и компьютерных сетей.

Диссертационная работа «Методы и алгоритмы реконфигурирования параметров и структур мультипровайдерных сетей распределенных центров обработки данных» Иванчиковой Марии Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.15 – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры САПР ВС. Присутствовало на заседании 22 чел. Результаты голосования: «за» – 22 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0, протокол № 8 от «29» мая 2019 г.

Заместитель заведующего  
кафедрой САПР ВС  
д.т.н., профессор

С.В. Скворцов

Секретарь  
к.т.н., доцент

М.А. Бакулева