

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Чемерицкого Евгения Викторовича на тему “Исследование методов
контроля функционирования программно-конфигурируемых сетей”,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Диссертационная работа Е.В. Чемерицкого посвящена исследованию одной из **важных и актуальных** задач обеспечения надежности и эффективности функционирования компьютерных сетей: разработке методов анализа и управления поведением программно-конфигурируемых сетей (ПКС). ПКС – это новая технология передачи данных в компьютерных сетях, которая с момента своего появления в 2006 году вызывает большой интерес, как академических исследователей, так и практиков. Важность и актуальность представленного исследования связана с постоянным ростом нагрузки на компьютерные сети, сложностью управления распределенными сетями, необходимостью обеспечивать корректность и надежность их работы и не вызывает сомнений.

В ПКС уровень управления сетью (контроллер) реализуется программно и отделен от устройств передачи данных. Идея ПКС была реализована в протоколе OpenFlow, который существенно упрощает администрирование сети. Важной особенностью ПКС и протокола OpenFlow является доступ контроллера к глобальным состояниям сети. Благодаря этому появляется возможность применения формальных методов для анализа поведения ПКС. Именно этому посвящена представленная диссертация.

В работе Е.В. Чемерицкого решаются две конкретные задачи, связанные с проверкой соответствия поведения ПКС с заданной конфигурацией компонентов требованиям, представленным политиками маршрутизации.

Первая задача состоит в проверке логической корректности конфигурации. Проверяемые свойства записываются в виде формул специальной темпоральной логики, затем проводится верификация этих свойств для заданной конфигурации

ПКС.

Вторая задача связана с оценкой сквозной задержки передачи данных в сети. Для решения этой задачи Е.В. Чемерицкий использует и развивает сетевое исчисление (*network calculus*), предложенное в работах J.-Y. Le Boudec и P. Thiran.

Обе решаемые в диссертации задачи являются актуальными и интересными как с теоретической, так и с практической точек зрения.

Диссертационная работа Е.В. Чемерицкого состоит из введения, двух глав, заключения, трех приложений, списка рисунков, списка таблиц списка литературы из 131 названия.

Во **введении** описываются принципы организации компьютерных сетей, основные проблемы, связанные с их администрированием, обосновывается актуальность и цели представленной работы по анализу свойств ПКС при заданной конфигурации ее компонентов.

В **первой главе** излагается решение задачи проверки конфигурации ПКС на соответствие спецификации политики маршрутизации. В первых разделах главы описываются основные положения протокола OpenFlow и требования к поведению ПКС. В разделах 1.4, 1.5 обосновывается выбор языка спецификаций для описания свойств ПКС и выбор формализма для задания семантики ПКС. Разработанные автором статическая и динамическая модели ПКС представлены в разделе 1.6. В разделе 1.7 описываются три языка спецификации для описания свойств ПКС разного уровня, образующие естественную иерархию. Раздел 1.8 содержит описание алгоритма верификации и его программной реализации. В разделе 1.9 приведены результаты экспериментальной проверки представленного в этой главе метода верификации, которые подтверждают его применимость на практике.

Во **второй главе** излагается решение задачи по получению верхней оценки для сквозной задержки передачи пакетов в ПКС, которая относится к проблеме управления качеством сервиса в сети. В первых двух разделах этой главы дается краткий обзор моделей сервисов и методов обеспечения их качества, а также описываются внутреннее устройство коммутатора и организация обработки

пакетов. В разделе 2.3 излагаются основы теории сетевого исчисления, формализующей зависимости между производительностью элементов сети и качеством сервиса, в частности, Min-Plus алгебра, позволяющая выразить зависимости между потоками данных на входах обработчиков и потоками данных на выходах. Проблемы, связанные с мультиплексированием нескольких потоков, и известные подходы к их решению описаны в разделе 2.4. Раздел 2.5 представляет новые результаты по вычислению функции обратной свертки, которые позволили расширить область применения известных алгоритмов для оценки времени передачи пакетов с кусочно-линейных функций из двух сегментов до кусочно-линейных функций, состоящих из произвольного количества сегментов. В разделе 2.6 автором описывается и обосновывается метод получения достижимой верхней оценки сквозной задержки передачи данных с помощью методов линейного программирования. Показано (Теорема 3), что если топология сети обработчиков представлена ориентированным деревом, то задача получения точной верхней оценки решается за полиномиальное время. Раздел 2.7 описывает реализацию и экспериментальную апробацию разработанного метода.

В **заключении** описаны основные результаты диссертационной работы и направления дальнейших исследований.

В **приложениях А, Б** приведены краткие описания языков спецификаций и формализмов для моделирования систем, которые могут быть использованы при решении задач анализа политик маршрутизации для ПКС. В **приложении В** приведены доказательства некоторых полезных теорем сетевого исчисления.

Отметим основные **новые** научные результаты, полученные в диссертации:

1. На основе построенной математической модели ПКС и трехуровневого формального языка для спецификации политик маршрутизации разработан и обоснован метод проверки соответствия ПКС политикам маршрутизации.
2. Разработан и обоснован метод получения точных верхних оценок для сквозной задержки передачи пакетов в ПКС.

Таким образом, в диссертационной работе Е.В. Чемерицкого получены новые важные результаты в области анализа поведения ПКС. Выполненное исследование является важным продвижением в развитии методов анализа компьютерных сетей. С точки зрения практического применения особый интерес представляет полиномиальный алгоритм вычисления точной верхней оценки для сквозной задержки передачи пакетов в ПКС.

В качестве **замечаний** к работе отметим следующее:

1. Поскольку логика FO[TC] используется в работе в качестве основного языка спецификации требований, определение синтаксиса и семантики FO[TC] лучше было бы привести в основном тексте диссертации, а не в приложении А вместе с определениями других, не используемых непосредственно, формализмов.
2. На с. 55 алгебры процессов отнесены к обобщениям конечных автоматов наряду с автоматами реального времени и сетями Петри. Следует отметить, что алгебры процессов, как явствует и из названия, представляют алгебраический, а не автоматный подход к описанию поведения систем.
3. Всюду в тексте автор говорит о конечных автоматах, а в определении на с. 64 упоминается дискретный преобразователь.
4. На с. 101 сети ПКС названы сетями SDN.
5. Некоторые теоремы в диссертации не пронумерованы с. 132-133.

Указанные недостатки, однако, не являются принципиальными и не умаляют достоинств диссертации.

В целом, на основании вышеизложенного можно сделать заключение, что диссертация Е.В. Чемерицкого “Исследование методов контроля функционирования программно-конфигурируемых сетей” представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в важном научном направлении – разработке методов анализа поведенческих свойств программно-контролируемых сетей. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы и

достоверны. Теоретические результаты сопровождаются математическими доказательствами. Результаты диссертационной работы новы, представляют значительный научный интерес и подтверждаются экспериментами. Опубликованные работы и автореферат достаточно полно и правильно отражают основное содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней к кандидатским диссертациям, соответствует профилю специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, а ее автор Е.В. Чемерицкий заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

профессор департамента программной инженерии
факультета компьютерных наук
Национального исследовательского университета
«Высшая школа экономики»,
доктор физико-математических наук

И.А. Ломазова

07.09.2015

Контактные данные:

Телефон: +7(495)772-95-90*22500

Электронная почта: ilomazova@hse.ru

Адрес: г. Москва, Кочновский проезд, 3, к.417а

Подпись И.А. Ломазовой заверяю

подпись заверено
ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА

ГОРОДИСКАЯ Ю.Н.

