

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФРАГМЕНТА ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

С. Мухизи<sup>1</sup>, Г. И. Шамшин<sup>1</sup>, А. С. Мутханна<sup>1</sup>, Р. В. Киричек<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

## Аннотация

**Предмет исследования.** Статья посвящена анализу производительности фрагмента программно-конфигурируемой сети. **Метод.** В качестве метода исследования была выбрана имитационная модель в среде Anylogic. **Основной результат.** В результате исследования была разработана концептуальная модель SDN как системы массового обслуживания и получены показатели времени обработки сообщений от интенсивности поступления данных и производительности контроллера. **Практическая значимость.** Учитывая параметры поступающих запросов и функциональность SDN-контроллера, сетевой администратор имеет возможность вычислять оценку задержки и установить требуемый объем буфера для установления требуемого качества обслуживания.

## Ключевые слова

SDN, OpenFlow, flow table, AnyLogic, имитационная модель, СМО.

## Информация о статье

УДК 004.7:621.39

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.09.16, принята к печати 25.11.16.

**Ссылка для цитирования:** Мухизи С., Шамшин Г. И., Мутханна А. С., Киричек Р. В. Исследование и разработка имитационной модели функционирования фрагмента программно-конфигурируемой сети как системы массового обслуживания // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 49–57.

# THE RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE IMITATION MODEL THE FUNCTIONING OF THE SDN-SEGMENT AS A QUEUING SYSTEM

S. Muhizi<sup>1</sup>, G. Shamshin<sup>1</sup>, A. Muthanna<sup>1</sup>, R. Kirichek<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: kirichek@sut.ru

**Abstract—Subject:** The article is devoted to the analysis of the performance of a segment of a software-defined network. **Method:** As a research method was chosen a simulation model in Anylogic. **Findings:** As a result of the research, the conceptual queue model SDN was developed and the indicators of the time of processing messages from the intensity of data receipt and the performance of the controller were obtained. **Improvements:** Given the parameters of incoming requests and the functionality of the SDN controller, the network administrator has the ability to calculate the delay estimate and set the required buffer size to establish the required quality of service.

**Keywords—**SDN, OpenFlow, flow table, AnyLogic, simulation model, queue model.

## Article info

Article in Russian.

Received 21.09.16, accepted 25.11.16.

**For citation:** Muhizi S., Shamshin G., Muthanna A., Kirichek R.: The research and development of the imitation model the functioning of the SDN-segment as a queuing system // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 4. pp. 49–57 (in Russian).

## Введение

В настоящее время, концепция программируемых сетей (SDN) является ключевой тенденцией в области сетей связи, которая предлагает снять ограничения на существующие сетевые инфраструктуры путем разделения уровня управления сетью и передачи данных за счет переноса функций управления в приложения, работающие на отдельном контроллере, что делает сеть более централизованной и предоставляет возможности программного управления ею [1]. Таким образом, SDN предоставляет сети гибкие динамические возможности, что упрощает использование и значительно уменьшает затраты на системную интеграцию и оборудование.

Тем не менее, все отмеченные преимущества SDN применяются на сегодняшний день без учета решения частных задач функциональности сети, таких как производительность и скорость передачи пакетов, которые обосновываются использованием SDN-контроллера как удаленной системой для управления всеми устройствами передачи [2, 3, 4].

SDN-контроллер может управлять как одним, так и несколькими OpenFlow-коммутаторами и содержит сетевую операционную систему, предоставляющую сетевые сервисы по низкоуровневому управлению сетью, сегментами сети и состоянием сетевых элементов, а также приложения, осуществляющие высокоуровневое управление сетью и потоками данных. В каждом контроллере имеется хотя бы одно приложение, которое управляет коммутаторами, соединенными с этим контроллером, и формирует представление о топологии физической се-

ти, находящейся под управлением контроллера. Основная идея SDN о создании унифицированного, независимого от производителя сетевого оборудования, программно-управляемого интерфейса между контроллером и транспортной средой сети нашла отражение в протоколе OpenFlow, который позволяет самим пользователям определять и контролировать, кто с кем, при каких условиях и с каким качеством может взаимодействовать в сети.

OpenFlow – открытый стандарт, в котором описываются требования, предъявляемые к коммутатору, поддерживающему протокол OpenFlow для удаленного управления<sup>1</sup>. Согласно спецификации стандарта OpenFlow, взаимодействие контроллера с коммутатором осуществляется посредством протокола OpenFlow – каждый коммутатор должен содержать одну или более таблиц потоков (*flow tables*), групповую таблицу (*group table*) и поддерживать канал (*OpenFlow channel*) для связи с удаленным контроллером – сервером. Каждая таблица потоков в коммутаторе содержит набор записей (*flow entries*) о потоках или правила. Каждая такая запись состоит из полей-признаков (*match fields*), счетчиков (*counters*) и набора инструкций (*instructions*). Управление данными в OpenFlow осуществляется не на уровне отдельных сообщений, а на уровне их потоков. Правило в коммутаторе устанавливается с участием контроллера только для первого пакета, а затем все остальные пакеты потока его используют.

В данной работе предлагается модель фрагмента программно-конфигурируемой сети с учетом анализа функциональности коммутатора и контроллера сети как систем массового обслуживания (СМО) с очередью.

### Принцип работы программно-конфигурируемой сети

При развертывании SDN, контроллер, как правило, управляет несколькими OpenFlow-коммутаторами, соединяющих группу узлов. Типичная архитектура SDN показана на рис. 1.

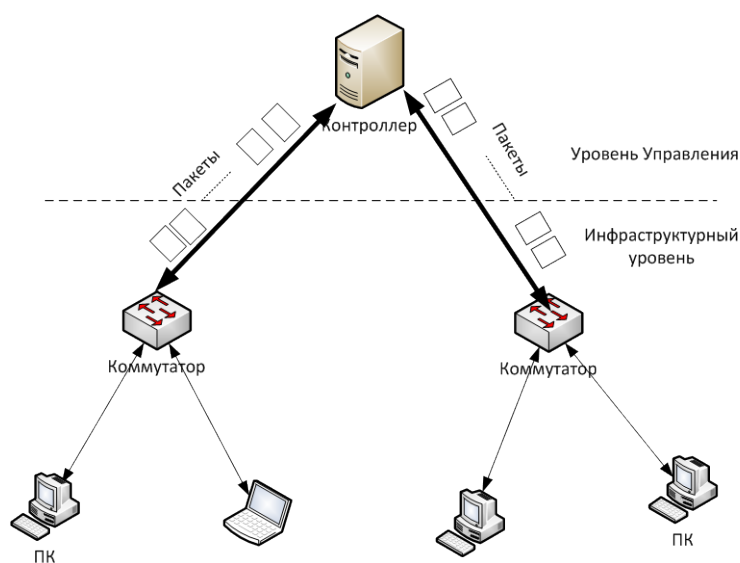


Рис. 1. Архитектура программно-конфигурируемых сетей SDN

<sup>1</sup> OpenFlow. URL: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/openflow>

OpenFlow коммутатор проверяет таблицу потоков на прибытие пакета. Если пакет найден, коммутатор применяет действие к пакету указанное в записи таблицы, как правило, перенаправляет его на указанный интерфейс. В противном случае пакет должен принадлежать к новому потоку и коммутатор пересылает его SDN контроллеру в сообщении *packet-in*. Затем контроллер определяет соответствующее правило потока и посылает его коммутатору в сообщении *packet-out* или *flow\_mod*. Как следствие, SDN-контроллер получает поток сообщения *packet-in* от каждого OpenFlow коммутатора (рис. 2).

В современных сетях связи одновременно передается информация разных видов (видео- и аудиоинформация, сжатая видео- и аудиоинформация, а также данные, менее чувствительные к задержкам) с разными показателями качества обслуживания, на ее работу существенно влияют методы управления трафиком.

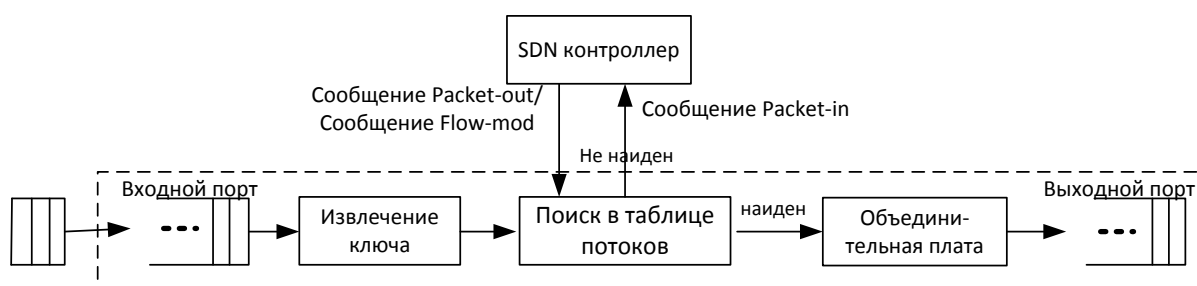


Рис. 2. Процесс передачи сообщения через OpenFlow коммутатор

Для создания модели сети (в том числе задания её топологии, характеристик элементов сети), а также динамического моделирования её работы, анализа и оптимизации её характеристик, управления трафиком, несомненно, нужно использовать один из мощнейших инструментов исследования сложных систем – имитационное моделирование [5, 6, 7].

### Модель сети

Операции на SDN-коммутаторах с разными возможностями управления процессами передачи данных приводят к значительному изменению задержки для установки и модификации таблиц потоков. Для решения проблемы используются модели СМО [8, 9], описывающие процесс обмена потоков между контроллером и коммутатором в зависимости от временных характеристик прохождения пакетов. Модель СМО SDN была построена с использованием Anylogic Multimethod (рис. 3).

Поступающие запросы характеризуют интенсивности поступающих потоков от множества коммутаторов к контроллеру. Представленная модель описывает процесс обслуживания входящих сообщений на разных блоках обслуживания, как на уровне коммутатора, так и на уровне контроллера. Обработка сообщений на коммутаторе представлена на рис. 4.

Спроектированная модель сети SDN имеет 6 OpenFlow коммутаторов, к каждому из них подключены объекты *Source*, которые являются источниками входящих сообщений с заданной интенсивностью.

Для более точного моделирования процесса обмена информации между коммутатором и контроллером, поступающие сообщения были разделены по че-

тырем категориям, каждая из которых определяется соответствующей вероятностью появления.

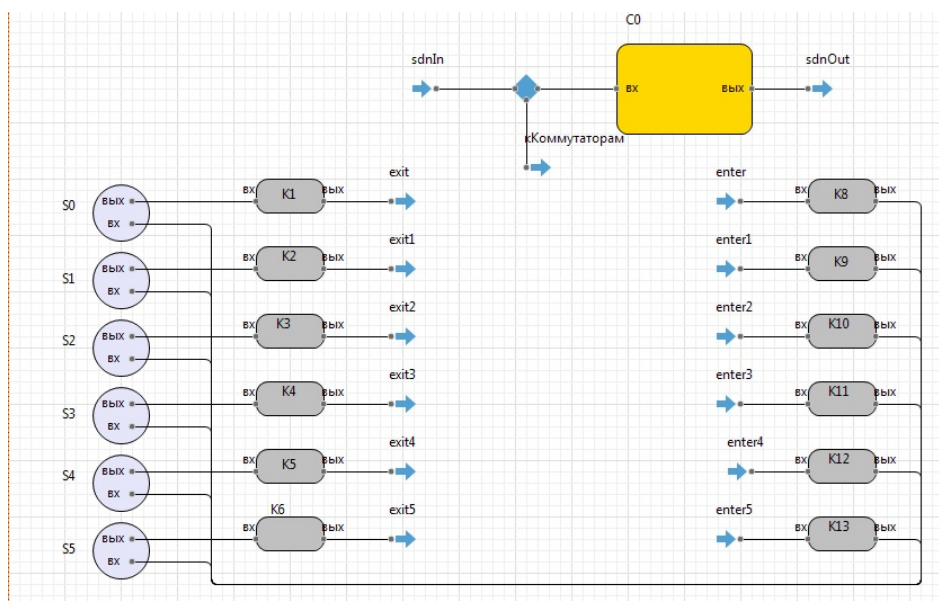


Рис. 3. Концептуальная модель программно-конфигурируемой сети в среде AnyLogic 7.3.6

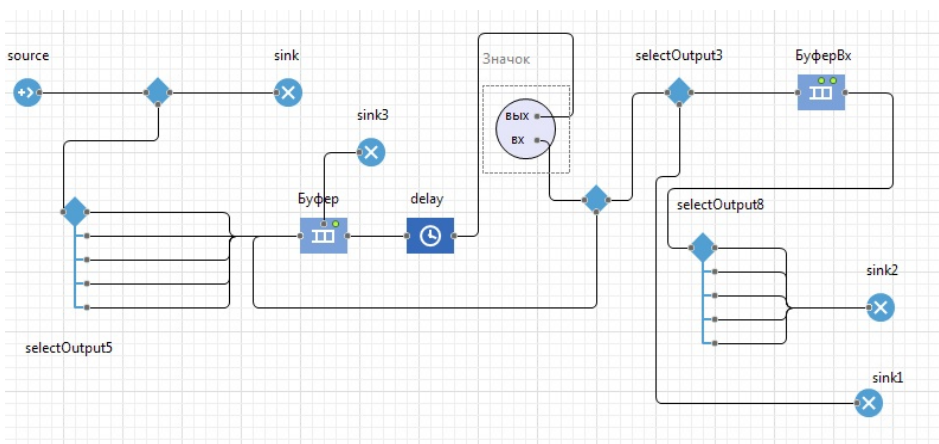


Рис. 4. Концептуальная модель OpenFlow-коммутатора в среде AnyLogic 7.3.6

От коммутатора сообщения поступают в канал связи (рис. 5). Канал связи в данной модели построен так, чтобы не оказывать значительного влияния на общую оценку производительности модели.

Обработка сообщений на контроллере представлена на рис. 6.

Модель программно-конфигурируемой сети состоит из центрального блока (контроллер) для управления потока в сети. Поступающие от устройства сообщения проверяются на присутствие у коммутатора адреса получателя.

Для данной категории сообщения, поступающего на коммутатор, определяются правила передачи сообщения получателю: первое сообщение данной категории от коммутатора отправляется к контроллеру для подтверждения присутствия получателя. Если запрос подтвержден, то сообщение отправляется обратно к коммутатору, который в свою очередь пересылает сообщение к получа-

тлю. Для последующих сообщений по данной категории подтверждений не требуется.

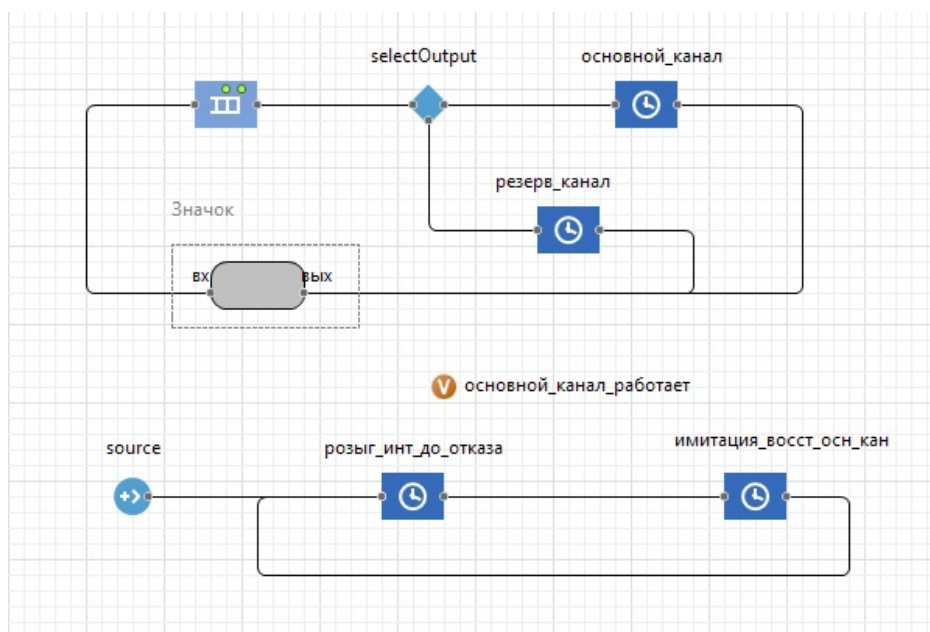


Рис. 5. Концептуальная модель канала связи в среде AnyLogic 7.3.6

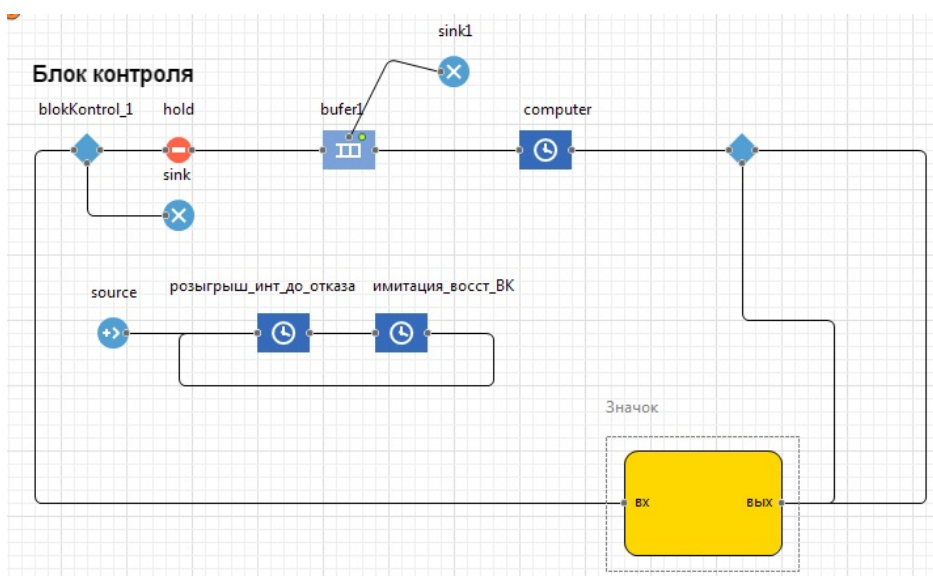


Рис. 6. Концептуальная модель SDN контроллера в среде AnyLogic 7.3.6

Проектируемая модель контроллера работает с заданной вероятностью отказа. В случае отказа, вся процедура проверки адреса получателя запускается заново, при этом процесс получения сообщений разделяется по номеру категории для данного получателя.

### Результаты моделирования

Используя описание модели SDN можно рассматривать состояние загруженности каналов сети связи и, следовательно, при заданных её параметрах устанавливать требуемое качество обслуживания на различные узлы сети. Ка-

чество обслуживания характеризует следующие показатели: вероятность (коэффициент) пропускной способности сети; среднее время передачи (задержки) сообщений (пакетов); вариация задержки; вероятность потери сообщений (пакетов).

Экспериментальное исследование проводилось с установленным модельным временем 3 600 секунд и размером памяти для моделирования 1 024 Мб.

На рис. 7. представлена зависимость времени обработки сообщения от интенсивности поступления пакетов. Как показано, чем больше интенсивность поступления пакетов, тем выше среднее время обработки сообщений, следовательно, с увеличением числа источников происходит снижение коэффициента пропускной способности.

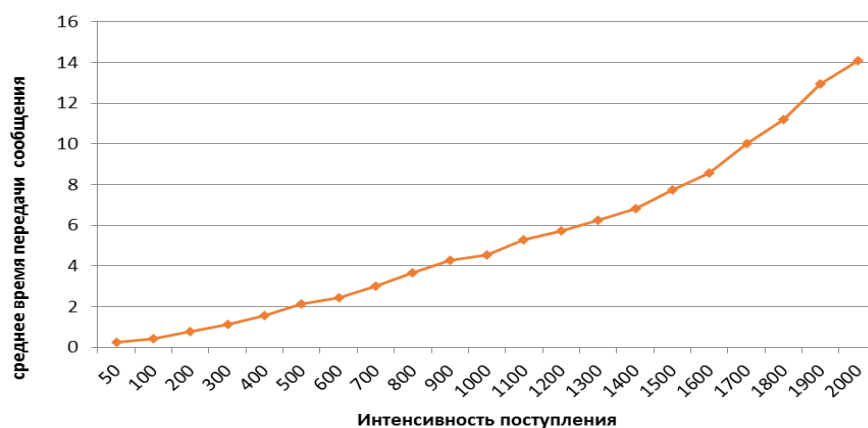


Рис. 7. График зависимости времени обработки сообщения от интенсивности поступления пакетов

При фиксированной интенсивности поступления сообщения на каждом коммутаторе можно получить зависимость среднего времени обработки сообщения от производительности контроллера. Результаты моделирования показаны на рис. 8. Как показано на графике, среднее время обработки сообщения значительно уменьшается с увеличением производительности контроллера. Соответственно улучшается коэффициент пропускной способности сети.



Рис. 8. График зависимости времени обработки сообщения от производительности контроллера

## Заключение

При переходе от традиционных телекоммуникационных сетей к SDN, при их проектировании сталкиваются с рядом проблем: определение типов и параметров сетевого оборудования, выбор архитектуры сети. Среди множества технологических, методологических и других проблем центральное место занимает проблема обеспечения требуемого качества обслуживания для различных видов трафика, определения загруженности каналов связи сети при заданных её параметрах, а также исследование поведения трафика разных классов.

В представленной работе были исследованы возможности и ограничения в функциональности SDN-коммутатора и SDN-контроллера на основе классической теории систем массового обслуживания. Учитывая параметры поступающих запросов и функциональность SDN-контроллера, сетевой администратор имеет возможность вычислять оценку задержки и установить требуемый объём буфера для установления требуемого качества обслуживания.

## Литература

1. Kreutz D., Ramos F., Verissimo P., Rothenberg C., Azodolmolky S., Uhlig S. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey // Proceedings of the IEEE. 2015. Vol. 103. Iss. 1. pp. 14–76.
2. Vladyko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN Testing based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 539–549.
3. Владыко А. Г., Киричек Р. В., Великоречин М. А., Думин Д. И. Комплексная методика тестирования фрагмента программно-конфигурируемой сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 20–29. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>
4. Владыко А. Г., Матвиенко Н. А., Новиков М. И., Киричек Р. В. Тестирование контроллеров программно-конфигурируемой сети на базе модельной сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 1. С. 17–28. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/17-28.pdf>
5. Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79.
6. Vladyko A., Letenko I., Lezhepekov A., Buinevich M. Fuzzy Model of Dynamic Traffic Management in Software-Defined Mobile Networks // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 561–570.
7. Borshchev A. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6. AnyLogic North America. 2013. 614 p.
8. Dombacher C. Queueing Models for Call Centres. URL: [http://www.telecomm.at/documents/Queueing\\_Models\\_CC.pdf](http://www.telecomm.at/documents/Queueing_Models_CC.pdf)
9. Xiong B., Yang K., Zhao J., Li W., Li K. Performance Evaluation of OpenFlow-based Software-Defined Networks based on Queueing Model // Computer Networks. 2016. Vol. 102. pp. 172–185.

## References

1. Kreutz, D., Ramos, F., Verissimo, P., Rothenberg, C., Azodolmolky, S., Uhlig, S. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey // Proceedings of the IEEE. 2015. Vol. 103. Iss. 1. pp. 14–76.
2. Vladyko, A., Muthanna, A., Kirichek, R. Comprehensive SDN Testing based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 539–549.
3. Vladyko, A., Kirichek, R., Velikorechin, M., Dumin, D. Benchmarking Methodology of Software-Defined Networks // Telecom IT. 2015. Vol. 2 (10). pp. 20–29. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/2-15.pdf>



4. Vladyko, A., Matvienko, N., Novikov, M., Kirichek, R.: SDN-Controllers Benchmarking based on Model Network // *Telecom IT*. 2016. Vol. 4. Iss. 1. pp. 17–28. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/17-28.pdf>

5. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. pp. 76–79.

6. Vladyko, A., Letenko, I., Lezhepekov, A., Buinevich, M. Fuzzy Model of Dynamic Traffic Management in Software-Defined Mobile Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. Vol. 9870. pp. 561–570.

7. Borshchev, A. *The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 6*. AnyLogic North America. 2013. 614 p.

8. Dombacher, C. Queueing Models for Call Centres. URL: [http://www.telecomm.at/documents/Queueing\\_Models\\_CC.pdf](http://www.telecomm.at/documents/Queueing_Models_CC.pdf)

9. Xiong, B., Yang, K., Zhao, J., Li, W., Li, K. Performance Evaluation of OpenFlow-based Software-Defined Networks based on Queueing Model // *Computer Networks*. 2016. Vol. 102. pp. 172–185.

***Мухизи Самуэль***

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, samno1@yandex.ru

***Шамшин Григорий Игоревич***

– магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, reignsword@gmail.com

***Мутханна Аммар Салех Али***

– кандидат технических наук, ассистент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, ammarexpress@gmail.com

***Киричек Руслан Валентинович***

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

***Muhizi Samuel***

– postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, samno1@yandex.ru

***Shamshin Grigoriy***

– undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, reignsword@gmail.com

***Muthanna Ammar Saleh***

– Ph.D., assistant, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, ammarexpress@gmail.com

***Kirichek Ruslan***

– Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru