

А.В. Чувак, Т.Г. Суровцова

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

**АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Беспроводные сети широко используются для доступа в Интернет в общественных местах, торговых центрах и учебных учреждениях. Изучение активности пользователей может помочь решить задачи маркетинга, безопасности, определения местоположения, мониторинга общественного транспорта. В статье описывается эксперимент по замеру активности пользователей в беспроводных сетях Петрозаводского университета, для чего был разработан метод определения активности без доступа к служебному оборудованию и персональным данным, а также программный комплекс, реализующий этот метод. Также в статье приведен анализ результатов эксперимента: часы наибольшей и наименьшей активности, влияние на активность расписания занятий, динамика возвратов пользователей в сеть и т.п. Полученные сведения использованы для решения задачи определения допустимого ограничения скорости доступа в Интернет для пользователей сети. Данная задача возникает в сети Петрозаводского университета в связи с затруднением отдельных элементов учебного и рабочего процесса из-за строгого ограничения скорости для всех пользователей. Для решения этой задачи выведен ряд уравнений, учитывающих типовое поведение пользователей беспроводных сетей, активность пользователей и пропускную способность внешних сетевых каналов. Вычисляемые показатели ограничения скорости значительно превышают установленные показатели в сети Петрозаводского университета в часы средней и минимальной нагрузки на сеть. Полученные результаты можно использовать в корпоративных сетях для динамического вычисления допустимого ограничения скорости, что может повысить качество обслуживания пользователей.

Ключевые слова: беспроводная сеть, активность пользователей сети, анализ производительности сети, регулирование скорости сети.

A.V. Chuvak, T.G. Surovtsova

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation

ANALYSIS OF USER ACTIVITY IN WIRELESS LOCAL AREA NETWORK OF PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY

Wireless networks are widely used for Internet access in public places, trading centers and educational institutions. The study of user activity in these places can help solve marketing, security, location problems, monitoring of public transport. The article describes an experiment to measure the activity of users in wireless networks of Petrozavodsk University, for which was developed a method for determining activity without the need to access service equipment and personal data, as well as a software complex that implements this method. The article also analyzes the results of the experiment: the hours of the greatest and the least activity, the effect on the activity of the schedule, the dynamics of user returns to the network, etc. The information obtained is used to solve the problem of determining the permissible restriction of the speed of Internet access for users of the network. This task arises in the network of Petrozavodsk University in connection with the difficulty of individual elements of the educational and work process due to a strict speed limit for all users. To solve this problem, a number of equations are derived that take into account the typical behavior of wireless network users, user activity and the capacity of external network channels. Computed rates for speed limits significantly exceed the established indicators in the network of Petrozavodsk University during hours of average and minimum network load. The results obtained can be used in corporate networks to dynamically calculate the permissible speed limit, which can improve the quality of user service.

Keywords: wireless network, network user activity, network performance analysis, speed restriction.

Введение. Беспроводные локальные сети, в частности Wi-Fi, – наиболее распространенная технология доступа к информации в условиях, требующих мобильность, простоту установки и использования [1]. Благодаря этому доступ к беспроводным сетям (БС) может предоставляться широкому кругу лиц, использующих мобильные устройства. Для таких пользователей характерны кратковременное подключение к сетям, частое изменение местоположения, активность в определенные временные периоды [2, 3].

Анализ данных о поведении пользователей может дать необходимую информацию для работы организации, предоставляющей беспроводное соединение. Например, аналитика БС в торговых центрах помогает оценить привлекательность витрин, эффективность рекламных кампаний [4], а в образовательных учреждениях – отслеживать тенденцию посещения студентами учебного заведения [5] или отдельного мероприятия [6]. Кроме того, подобная аналитика необходима для систем корпоративной безопасности [7]. Полученные при этом данные можно использовать для оптимизации физического пространства [8]. При этом

любую подозрительную активность в беспроводных сетях необходимо фиксировать [9]. Кроме того, беспроводные сети возможно использовать для определения местоположения объектов в помещениях [10, 11, 12, 13]. Работа с активными мобильными пользователями может помочь с контролем маршрутов транспортных средств [14]. Также исследования показывают, что с помощью анализа активности сигнала беспроводной сети возможно распознавание отдельных людей [15].

Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ) предоставляет беспроводное соединение на базе Wi-Fi широкому кругу лиц: студентам, сотрудникам и гостям вуза. БС университета разбита на несколько логических сетей с различным режимом доступа: PSU-STUD для студентов, PSU-STAFF для сотрудников и IT-GUEST для гостей. Ежедневно сетью пользуются сотни человек, из-за чего применяется политика ограничения максимальной пропускной способности сети для каждого пользователя, что часто затрудняет получение необходимых в учебном процессе материалов.

Целью данной работы являются проведенный сбор данных об активности пользователей БС ПетрГУ и применение полученных знаний для расчета допустимых ограничений скорости.

1. Сбор данных об активности пользователей. Доступ к БС в тринадцати учебных корпусах ПетрГУ осуществляется с использованием более чем ста точек доступа Cisco Aironet 1602, 1040, 1240, каждая из которых позволят подключиться ко всем логическим БС. Пользователю, подключившемуся к любой из точек доступа, выделяется IP-адрес из единой для всей логической БС IP-подсети. Максимальное количество пользователей каждой сети составляет 1022.

Доступ к служебной информации о работе сети ограничен по соображениям безопасности. Без нее определить количество активных пользователей возможно с помощью протокола ARP (Address Resolution Protocol – протокол определения адреса). Путем опроса всех возможных IP-адресов подсети с помощью ARP-запросов можно определить, что адрес назначен активному устройству (такое устройство вернет ARP-ответ), а также узнать MAC-адрес устройства для его идентификации. Данный способ возможно использовать при условии подключения к исследуемой IP-подсети.

Для сбора данных из сетей было разработано приложение на языке Python, которое использует утилиту Nmap [16] для сканирования

сети с помощью ARP-запросов, а также автоматизирует переключение компьютера между БС для одновременного мониторинга нескольких сетей с одного компьютера. Данные о сканировании – дата и время, количество активных пользователей, список обнаруженных MAC-адресов – сохраняются в отдельные JSON-файлы.

Эксперимент по сбору данных об активности пользователей проводился с 6 февраля по 26 марта 2017 г. включительно. В качестве сканирующей машины использовался одноплатный компьютер Orange Pi Lite с ОС на базе Linux, который был установлен в главном корпусе ПетрГУ для сбора данных на круглосуточной основе. Всего в каждой из сетей было проведено около 8900 замеров, средний интервал между которыми составил 7,86 минут.

2. Анализ активности. Полученные данные показали, что по будним дням активность сохраняет схожий вид для всех сетей. Рост активности начинается в 7:50 утра и достигает своего пика с 10 до 13 часов. В обеденный перерыв (13:00–13:30) наблюдается 30%-ный спад активности, после – возвращение к уровню до обеда. Далее следует плавный спад с 16:00 до 19:00. На рис. 1 представлен график зависимости количества активных пользователей от времени в типичный будний день 7 февраля 2017 в сети PSU-STUD.

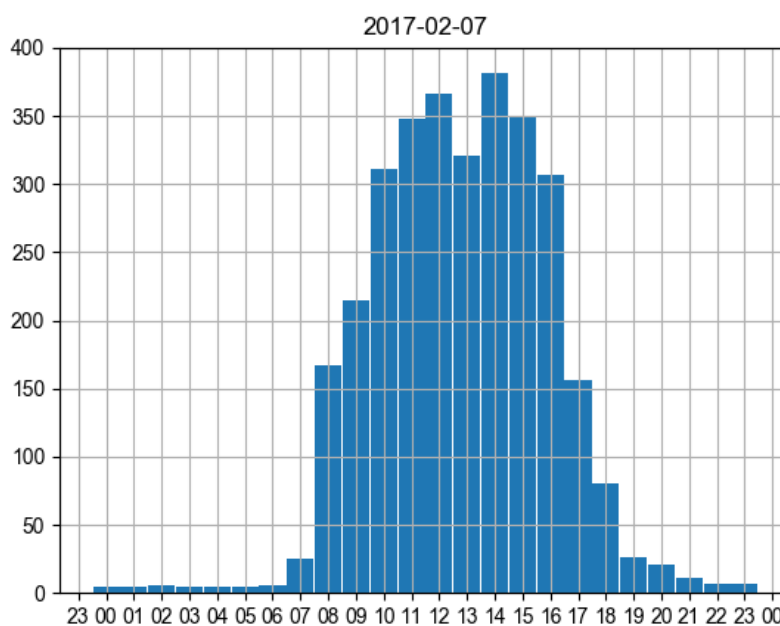


Рис. 1. Гистограмма активности в сети PSU-STUD 7 февраля

Максимальное количество активных пользователей обычно по будням составляет 450–650 пользователей в сети PSU-STUD, 100–120 в PSU-STAFF, 160–230 в IT-GUEST. Максимальное количество пользователей составило 926 по сумме трех сетей 22 марта в 14:05. Показатели активности почти не разнятся между соседними будними днями, а также между первой и второй сменой.

Знание MAC-адресов устройств позволило исследовать активность отдельных пользователей. Всего в сети PSU-STUD побывали 5435 устройств, в PSU-STAFF и IT-GUEST – 888 и 2182. Некоторые пользователи проявили активность в нескольких сетях. 116 человек использовали пару сетей PSU-STUD/PSU-STAFF, 713 человек – PSU-STUD/IT-GUEST, 152 человека – PSU-STAFF/IT-GUEST. 31 пользователь проявил активность во всех трех сетях.

На рис. 2 приведен график количества последовательных возвратов пользователей для сети PSU-STUD. На нем по горизонтали расположены даты будних дней, а по вертикали – процент пользователей предыдущего дня, которые были активны и в текущий день. График показывает долю пользователей, которые появляются в университете несколько дней подряд. Для всех сетей динамика возвратов схожая и колеблется в пределах 10–15 %.

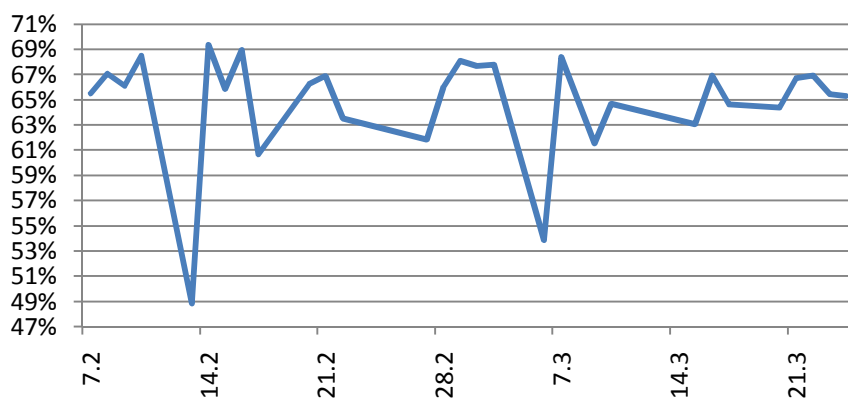


Рис. 2. Последовательные возвраты для PSU-STUD

Полученные данные свидетельствуют о регулярности посещения пользователями университета и равномерности учебного процесса по будним дням, так как активность пользователей и количество возвратов сохраняются на одинаковом уровне.

3. Ограничение скорости доступа в сеть для пользователей.

Скорость доступа пользователей к сети ПетрГУ ограничивается, так как пропускная способность внешнего канала для сети университета ограничена 100 Мб/с и недопустимо, чтобы внешний канал полностью занимался одним или несколькими пользователями, затрудняя доступ других пользователей сети. Такое ограничение скорости является самым простым [17]. Ограничение скорости осуществляется с помощью сервера FreeBSD и межсетевого экрана *ipfw*. Для всех узлов сети установлено фиксированное ограничение в 1 Мб/с. При этом реальная замеренная скорость составляет 400–500 Кб/с в часы максимальной нагрузки и 500–700 Кб/с в часы средней нагрузки (9 и 17 часов).

Очевидно, что не все пользователи в сети в каждый момент времени потребляют всю максимальную доступную им пропускную способность. Исследования [18, 19, 20] показали, что пользователей БС можно разделить на три группы по уровню потребления трафика: 17 % потребляют около 1–5 Мб трафика в рамках сессии (в среднем 5,5 Кб/с); 73 % потребляют среднее количество трафика со средней скоростью не более 100 Кб/с; 10 % потребляют максимум возможного трафика.

Вычислим ширину канала U в Кб/с, которая потребляется совместно пользователями 1-й и 2-й групп при общем количестве $N(t)$, зависящем от времени:

$$U_{1,2}(t) = N(t) \cdot 0,17 \cdot 5,5 + N(t) \cdot 0,73 \cdot 100 = N(t) \cdot 73,935. \quad (1)$$

Обозначим максимальную доступную ширину внешнего канала за W и рассчитаем ширину канала, занимаемую пользователями 3-й группы:

$$U_3(t) = W - U_{1,2}(t). \quad (2)$$

При указанном разбиении потребляемая пропускная способность у пользователей 3-й группы не может быть ниже, чем у пользователей 2-й группы, т.е. при достижении некоторого порога по количеству пользователей для групп 2 и 3 будет достигаться одинаковая максимальная скорость. Вычислим максимальное количество пользователей, при которых формулы (1) и (2) будут иметь смысл:

$$W = N \cdot 73,935 + N \cdot 0,1 \cdot 100. \quad (3)$$

Выразив количество пользователей получим

$$N_{\max} = W/83,935. \quad (4)$$

Приняв в нашем случае W за 100 Мб/с, получим $N_{\max} = 1191$. При превышении N_{\max} 2-й и 3-й группы будут объединены. До этого фактически ограничивается скорость только для 3-й группы. Ограничение скорости S складывается из остатка ширины канала после учета $U_{1,2}$:

$$S(t) = \frac{U_3(t)}{N(t) \cdot 0,1} = \frac{W}{N(t) \cdot 0,1} - 739,35. \quad (5)$$

В сети ПетрГУ $N(t) = N_1(t) + N_2(t) + N_3(t)$, т.е. сумма пользователей всех сетей. Формула (5) позволяет рассчитать допустимое ограничение скорости в Кб/с в БС в зависимости от времени с учетом количества пользователей и их типичного поведения. Следуя расчетам по формуле, в сети ПетрГУ можно установить ограничение 17,89 Мб/с для среднего количества 53,67 пользователей в 7:30 по будням, 1,46 Мб/с для 454,68 пользователей в 17:00, что значительно превышает экспериментальные показатели.

Стоит отметить, что правильные размеры пользовательских групп и потребляемый ими трафик являются индивидуальными для каждой сети, и их вычисление является темой отдельного исследования.

Выводы. Изучение активности пользователей БС может позволить добиться более эффективного управления организацией, предоставляющей доступ в сеть. Проведенный эксперимент по исследованию активности в сетях Петрозаводского университета позволил выявить четкие закономерности в поведении пользователей: пики активности в интервалы 11:00–13:00 и 14:00–15:00, спад активности в обеденный перерыв, регулярную активность 70 % пользователей в соседние дни. На основе полученных данных был предложен способ расчета допустимого ограничения скорости пользователей, который позволяет вычислять ограничение в зависимости от активности пользователей и их типичного поведения. Разработанное приложение, а также соответствующая настройка сервера ПетрГУ, ограничивающего скорость, позволят корректировать ограничение в соответствии с текущей загруженностью сети.

Библиографический список

1. Гудин М., Федоров М. Некоторые тенденции развития технологий Wi-Fi, WiMax, действующих на частоте 2, 4 ГГц // Беспроводные технологии. – 2006. – № 2. – С. 4–6.

2. Predicting length of stay at wifi hotspots / J. Manweiler [et al.] // INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE. – IEEE, 2013. – С. 3102–3110.
3. Zola E., Barcelo-Arroyo F. A comparative analysis of the user behavior in academic WiFi networks // Proceedings of the 6th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks. – ACM, 2011. – С. 59–66.
4. Иванов Д.А., Суровцова Т.Г., Тяхти Е.А. Анализ активности в беспроводных сетях как инновационный метод изучения поведения покупателей в торговых центрах // Научно-технические ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. – 2013. – № 183–2. – С. 271–275.
5. Храбров Д.Е. Методика контроля посещаемости студентов и локального позиционирования на основании Wi-Fi-сети // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015): материалы междунар. науч. конф. – Минск: Изд-во БГУИР, 2015. – С. 236–237.
6. Marchenkov S.A., Korzun D.G. Presence Detection in SmartRoom: Experimental Performance Evaluation // Proceedings 15th Conference Open Innovations Framework Program FRUCT. – ITMO Univeristy, 2014. – С. 221–222.
7. Камайкин А.Г., Осипов И.Е., Шумарин О.Е. Корпоративные сети Wi-Fi // Технологии и средства связи. – 2006. – № 1.
8. Eldaw M.H.S., Levene M., Roussos G. Presence analytics: Discovering meaningful patterns about human presence using wlan digital imprints // Proceedings of the International Conference on Internet of things and Cloud Computing. – ACM, 2016. – С. 53.
9. Лойко М.В., Овчинников А.Л. Сетевые анализаторы беспроводных сетей. Безопасность доступа к личной информации через сети Wi-Fi // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3. – № 9(57).
10. Малодушев С.В., Рогов А.А. Определение локации в корпоративных Wi-Fi сетях // Вестник ЮУрГУ. Сер. Математическое моделирование и программирование. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 92–104.
11. Воронов Р.В., Малодушев С.В. Динамическое создание карт уровня WiFi-сигналов для систем локального позиционирования // Системы и средства информатики. – 2014. – № 9. – С. 37–41.
12. Ланцев Н.А. Позиционирование в беспроводных сетях Wi-Fi // Вестник ВЭГУ. – 2010. – № 2. – С. 92–94.

13. Indoor Wi-Fi positioning system for Android-based smartphone / B.J. Shin [et al.] // Information and Communication Technology Convergence (ICTC), International Conference on. – IEEE, 2010. – С. 319–320.
14. Незнанов И.В., Намиот Д.Е. Контроль транспортных маршрутов с помощью мобильных телефонов // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – Т. 3. – № 8.
15. Understanding and modeling of wifi signal based human activity recognition / W. Wang [et al.] // Proceedings of the 21st annual international conference on mobile computing and networking. – ACM, 2015. – С. 65–76.
16. Lyon G.F. Nmap network scanning: The official Nmap project guide to network discovery and security scanning. – Insecure, 2009.
17. The local and global effects of traffic shaping in the internet / M. Marcon [et al.] // Communication Systems and Networks (COMSNETS), Third International Conference on. – IEEE, 2011. – С. 1–10.
18. Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN / A. Balachandran, G.M. Voelker, P. Bahl, P.V. Rangan // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. – ACM, 2002. – Т. 30. – № 1. – С. 195–205.
19. Mirylenka K. et al. Characterizing home device usage from wireless traffic time series // 19th International Conference on Extending Database Technology (EDBT). – 2016.
20. Fukuda K., Nagami K. A measurement of mobile traffic offloading // International Conference on Passive and Active Network Measurement. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 73–82.

References

1. Gudin M., Fedorov M. Nekotorye tendentsii razvitiia tekhnologii Wi-Fi, WiMax, deistvuiushchikh na chastote 2, 4 GGts [Some tendencies on developing of Wi-Fi, WiMax which are working on frequency 2,4 Gz]. *Besprovodnye tekhnologii*, 2006, no. 2, pp. 4-6.
2. Manweiler J. et al. Predicting length of stay at wifi hotspots. *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE*. IEEE, 2013, pp. 3102-3110.
3. Zola E., Barcelo-Arroyo F. A comparative analysis of the user behavior in academic Wi-Fi networks. *Proceedings of the 6th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks*. ACM, 2011, pp. 59-66.

4. Ivanov D.A., Surovtsova T.G., Tiakhti E.A. Analiz aktivnosti v besprovodnykh setiakh kak innovatsionnyi metod izucheniia povedeniia pokupatelei v torgovykh tsentrakh [Analysis of activity in wireless networks as an innovative method of studying of behavior of trade center]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 183-2, pp. 271-275.

5. Khrabrov D.E. Metodika kontrolya poseshchaemosti studentov i lokal'nogo pozitsionirovaniia na osnovanii Wi-Fi seti [Methodics of control of student attendance and location basing on Wi-Fi-network]. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy 2015 (ITS 2015): materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet informatiki i radioelektroniki, 2015, pp. 236-237.

6. Marchenkov S.A., Korzun D.G. Presence Detection in SmartRoom: Experimental Performance Evaluation. *Proceedings 15th Conference Open Innovations Framework Program FRUCT*. ITMO Univeristy, 2014, pp. 221-222.

7. Kamaikin A.G., Osipov I.E., Shumarin O.E. Korporativnye seti Wi-Fi [Enterprise Wi-Fi networks]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*, 2006, no. 1.

8. Eldaw M. H. S., Levene M., Roussos G. Presence analytics: Discovering meaningful patterns about human presence using wlan digital imprints. *Proceedings of the International Conference on Internet of things and Cloud Computing*. ACM, 2016, p. 53.

9. Loiko M.V., Ovchinnikov A.L. Setevye analizatory besprovodnykh setei. Bezopasnost' dostupa k lichnoi informatsii cherez seti Wi-Fi [Network analyzers of wireless networks. Safety of access to personal data over Wi-Fi network]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*, 2012, vol. 3, no. 9(57).

10. Malodushev S.V., Rogov A.A. Opredelenie lokatsii v korporativnykh Wi-Fi setiakh [Definition of location in enterprise Wi-Fi networks]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 92-104.

11. Voronov R.V., Malodushev S.V. Dinamicheskoe sozdanie kart urovnia Wi-Fi-signalov dlia sistem lokal'nogo pozitsionirovaniia [Dynamic creation of maps of Wi-Fi signal level for location systems]. *Sistemy i sredstva informatiki*, 2014, no. 9, pp. 37-41.

12. Lantsev N.A. Pozitsionirovanie v besprovodnykh setiakh Wi-Fi [Location in wireless networks of Wi-Fi]. *Vestnik VEGU*, 2010, no. 2, pp. 92-94.
13. Shin B.J. et al. Indoor Wi-Fi positioning system for Android-based smartphone. *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), International Conference on. – IEEE*, 2010, pp. 319-320.
14. Neznanov I.V., Namiot D.E. Kontrol' transportnykh marshrutov s pomoshch'iu mobil'nykh telefonov [Control of transport routes with use of mobile phones]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2015, vol. 3, no. 8.
15. Wang W. et al. Understanding and modeling of wifi signal based human activity recognition. *Proceedings of the 21st annual international conference on mobile computing and networking*. ACM, 2015, pp. 65-76.
16. Lyon G.F. Nmap network scanning: The official Nmap project guide to network discovery and security scanning. Insecure, 2009.
17. Marcon M. et al. The local and global effects of traffic shaping in the internet. *Communication Systems and Networks (COMSNETS), Third International Conference on*. IEEE, 2011, pp. 1-10.
18. Balachandran A., Voelker G.M., Bahl P., Rangan P.V. Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*. ACM, 2002, vol. 30, no. 1, pp. 195-205.
19. Mirylenka K. et al. Characterizing home device usage from wireless traffic time series. *19th International Conference on Extending Database Technology (EDBT)*, 2016.
20. Fukuda K., Nagami K. A measurement of mobile traffic offloading. *International Conference on Passive and Active Network Measurement*. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 73-82.

Сведения об авторах

Чувак Алексей Владимирович (Петрозаводск, Россия) – магистрант Петрозаводского государственного университета, Института математики и информационных технологий (185910, Республика Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33, e-mail: chuvakaleksei@yahoo.com).

Суровцова Татьяна Геннадьевна (Петрозаводск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика

и кибернетика» Петрозаводского государственного университета, Института математики и информационных технологий (185910, Республика Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33, e-mail: tsurovceva@petsu.ru).

About the authors

Chuvak Aleksey Vladimirovich (Petrozavodsk, Russian Federation) is a Master Student Petrozavodsk State University, Institute of Mathematics and Information Technologies (185910, Petrozavodsk, 33, pr. Lenina, e-mail: chuvakaleksei@yahoo.com).

Surovcova Tat'jana Gennad'evna (Petrozavodsk, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of Applied Mathematics and Cybernetics Petrozavodsk State University, Institute of Mathematics and Information Technologies (185000, Petrozavodsk, 33, pr. Lenina, e-mail: tsurovceva@petsu.ru).

Получено 30.01.2018