

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНОГО ИНТЕРВАЛА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА В СЕТЯХ Wi-Fi

О.А. Симонина<sup>1\*</sup>, В.В. Цанк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: olga.simonina@spbgut.ru

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Симонина О.А., Цанк В.В. Исследование влияния защитного интервала на показатели качества в сетях Wi-Fi // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 71–77. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-1-71-77

**Аннотация:** В статье показано, что тип трафика, ширина полосы пропускания и защитный интервал в технологиях IEEE 802.11 определяют степень влияния характеристик канала на показатели качества обслуживания. При этом разница между возможностями обслуживания мультисервисного трафика по технологиям IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac незначительна, а выигрыш от изменения защитного интервала может достигать 10 % пропускной способности сети. Исследование проведено на имитационной модели и натурной сети.

**Ключевые слова:** IEEE, Wi-Fi, защитный интервал, показатели QoS.

## Введение

Сети Wi-Fi оказались технологией де-факто не только для реализации беспроводного сегмента локальных сетей, но и для разгрузки сети мобильной связи для частных клиентов, организации каналов связи для движущихся объектов (например, моделей и квадрокоптеров), передачи информации с датчиков. Это обусловлено, прежде всего, использованием нелицензированного радиочастотного диапазона и большим выбором существующих аппаратных решений. Чаще всего на рынке представлены модули стандартов IEEE 802.11n, которые отличаются к тому же и невысокой ценой. При этом существует мнение, что стандарт IEEE 802.11ac лучше подходит для передачи мультимедийного трафика, особенно видео. Однако на возможностях технологии передачи трафика, особенно чувствительного к показателям качества обслуживания (QoS, от англ. Quality of Service), сказывается ряд технических показателей, таких, как модуляционно-кодирующая схема и размер защитного интервала (GI, от англ. Guard Interval). Эти показатели, обычно используемые по умолчанию, могут довольно существенно влиять на показатели QoS. При этом разница в использовании технологии для некоторых типов трафика может быть ничтожна при существенном увеличении стоимости беспроводного модуля.

Сейчас уже появились устройства на базе новой технологии IEEE 802.11ax, но пока только сетевые образующие. Так, компания ASUS уже предлагает готовое решение – маршрутизатор доступа с реализацией чернового варианта стандарта [1]. Стоимость такого устройства составляет около \$400.

Отдельно отметим ряд особенностей, характерных для новой технологии. Во-первых, отсутствуют пользовательские устройства, поддерживающие данный стандарт, иногда называемый Wi-Fi6. Конечно, данное решение совместимо вниз, в основном благодаря использованию тех же частотных диапазонов. Но в данном случае выигрыш в скорости, обещаемый в IEEE 802.11ax, исчезает за счет отсутствия поддержки более высоких модуляционно-кодирующих схем. Во-вторых, сейчас активно происходит гибридизация решений технологий пакетного доступа с сотовыми технологиями, то есть данное решение, скорее всего, временное, и будет конкурировать с NB-IoT. Таким образом, сегодня для большинства прикладных решений имеет смысл выбрать недорогую и проверенную технологическую базу.

Для эксперимента были выбраны технологии IEEE 802.11n [2] как наиболее распространенная и недорогая с поддержкой QoS, IEEE 802.11ac как более современная и дорогая, но уже более гибкая для передачи мультисервисного трафика и IEEE 802.11g как «старая» и без поддержки QoS.

### Модель исследования

Для проведения исследования использовалась модель, предложенная А.И. Богдановым в рамках его диссертационного исследования и реализованная в пакете моделирования MATLAB. В модели нагрузка на канал генерируется исходя из типа передаваемого трафика, что влияет на размер пакета данных и скорость передачи данных. Известно, что на скорость передачи данных влияют такие параметры, как защитный интервал, тип дуплексной передачи, отношение распределения ресурсов вниз/вверх и время передачи протокольной информации. При этом в модели было принято рассчитывать отдельно скорость в канале вверх и вниз, а влияние временного дуплекса учитывать позднее. Таким образом, скорость передачи данных по направлению вниз рассчитывается по формуле:

$$R_{DL} = B * n * \frac{N_{DLdata}}{N_{all}} * R_{symb} \left[ 1 - \frac{T_h}{1 + T_g} \right] * K_{DLtd}, \quad (1)$$

где  $N_{DLdata}$  – число поднесущих для передачи данных по направлению от точки доступа (AP, *от англ.* Access Point) к пользовательскому устройству (STA, *от англ.* Station) (AP → STA);  $R_{symb}$  – количество бит на символ в используемой схеме модуляции;  $K_{DLtd}$  – коэффициент распределения ресурсов по направлению AP → STA;  $B$  – скорость передачи данных в бодах;  $T_h = T_{передачи}/5$ ;  $T_g = T_{символа}/8$ .

Скорость передачи данных по направлению вверх рассчитывается по формуле:

$$R_{UL} = B * n * \frac{N_{ULdata}}{N_{all}} * R_{symb} \left[ 1 - \frac{T_h}{1 + T_g} \right] * K_{ULtd}, \quad (2)$$

где  $N_{ULdata}$  – число поднесущих для передачи данных по направлению от клиента к точке доступа (STA → AP);  $K_{ULtd}$  – коэффициент распределения ресурсов по направлению вниз. Расчет скорости передачи данных позволяет определить необходимое время передачи пакета данных. Таким образом, можно рассчитать нагрузку на канал для каждого типа трафика.

В модели также учитывается наличие MIMO для двух пространственных потоков как наиболее распространенный случай в современных пользовательских устройствах.

Моделирование нагрузки производилось в соответствии со стандартом IEEE 802.11e [3], который определяет доступ к среде для обеспечения качества обслуживания при помощи гибридной координатной функции (HCF, *от англ.* Hybrid Coordination Function). Станция 802.11e, получившая доступ к среде, не должна занимать радиоканал на время большей длительности, чем определено в стандарте, что определяется интервалом TXOP (*от англ.* Transmission Opportunity).

В стандарте IEEE 802.11e определены 4 категории доступа AC, которые коррелируют с IEEE 802.1D [4] и

задают уровни приоритета. Для каждой категории доступа определены свои межкадровые промежутки (AIFS, *от англ.* Arbitration Interframe Space) и размер окна состязаний.

Для того чтобы рассчитать нагрузку, создаваемую трафиком, необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$\begin{aligned} channel\ busy\ time = preamble + difs + \frac{data}{speed} + \\ + \frac{cw}{slottime} + sifs + \frac{ack}{speed}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} CU = integer * \\ * \left( \left( \frac{channel\ busy\ time}{measurement\ duration * 1024} \right) * 255 \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $CU$  (*от англ.* Channel Utilization) – параметр, определяющий величину загрузки основного канала во временной области;  $preamble$  – длительность преамбулы;  $difs$  – продолжительность распределенного межкадрового интервала для дифференциации потоков;  $sifs$  – продолжительность укороченного межкадрового промежутка;  $cw$  – окно конкуренции;  $ack$  – размер фрейма квитанции;  $data$  – размер фрейма данных;  $speed$  – скорость передачи данных;  $slottime$  – размер временного интервала;  $measurement\ duration$  – продолжительность измерения;  $integer$  – количество STA [4]. Легко видеть, что возможны перегрузки канала, обусловленные передачей трафика большого объема от нескольких станций одновременно.

Для моделирования были выбраны следующие типы трафика: серфинг в сети, т. е. приложения, мало чувствительные к задержкам; пакетная телефония; потоковое видео; фоновый трафик.

В модели также приняты следующие допущения:

- каждой станцией осуществляется передача 10000 пакетов;
- нет буферизации на устройстве;
- в радиоканале происходят непрерывные передачи, что, однако, верно только для большого числа станций при возникновении коллизий.

### Влияние защитного интервала

Для борьбы с помехами, такими как межсимвольная интерференция, в OFDM включен защитный интервал. В качестве защитного интервала используют циклический префикс, который добавляется перед передаваемым OFDM-символом в передатчике и удаляется при приеме символа в приемнике. Длительность защитного интервала может составлять 1/4, 1/8, 1/16 или 1/32 от длительности OFDM-символа [5].

Выбор длительности защитного интервала является отдельной оптимизационной задачей, решение которой существенно зависит от помеховой обстановки. Удлинение защитного интервала поз-

воляет существенно уменьшить влияние межсимвольной интерференции. С другой стороны, с увеличением защитного интервала уменьшается скорость передачи данных.

Стандартный защитный  $T_{GI}$  интервал установлен как четверть от времени опроса  $T_{FFT} = 1/\Delta F$ :

$$T_{GI} = \frac{1}{4} * T_{FFT} = \frac{1}{4} * \frac{1}{\Delta F} = \frac{1}{4} * \frac{1}{0,3125 * 10^6} = 800\text{нс.} \quad (5)$$

При этом, начиная с IEEE 802.11n, есть возможность использования укороченного защитного интервала длительностью 400 нс, который рекомендуется использовать в местах с пониженной помеховой обстановкой.

Произведем расчет нагрузки для стандартного защитного интервала ( $\gamma GI$ ) и полосы пропускания 20 МГц (рисунки 1) и 40 МГц (рисунки 2). Расчет произведем для каждого типа трафика отдельно. Для расчетов используем формулу:

$$\gamma GI = CU_{LGI} - CU_{SGI}, \quad (6)$$

где  $CU_{LGI}$  – нагрузка на канал при длинном защитном интервале;  $CU_{SGI}$  – нагрузка на канал при коротком защитном интервале.

Как видно из рисунка 1, перегрузка в общем канале для фонового трафика наступает при меньшем количестве подключенных клиентских устройств, чем при видеотрафике. Данный результат является нетривиальным, так как обычно принято считать, что самый сложный в обслуживании именно видеотрафик. При этом фоновый трафик и видеотрафик обладают рядом схожих параметров: это потоковый трафик с максимально большими пакетами данных. Однако, фоновый трафик при его преобладании может существенно уменьшать пропускную способность сети. Конечно, при настройке приоритизации в WLAN этот трафик является низкоприоритетным по сравнению с мультимедийным (видео, речь) и будет обслуживаться только в случае наличия доступной пропускной способности. Однако при отсутствии конфигурации QoS, что довольно часто встречается в домашних WLAN, фоновый трафик может существенно ухудшать использование других сервисов. А так как фоновый трафик обладает приоритетом, таким же как веб-серфинг, то при активных загрузках работа в сети может быть затруднена. При этом влияние защитного интервала и технологии IEEE 802.11n или IEEE 802.11ac не оказывает существенного влияния на параметры передачи фонового трафика (рисунки 1а).

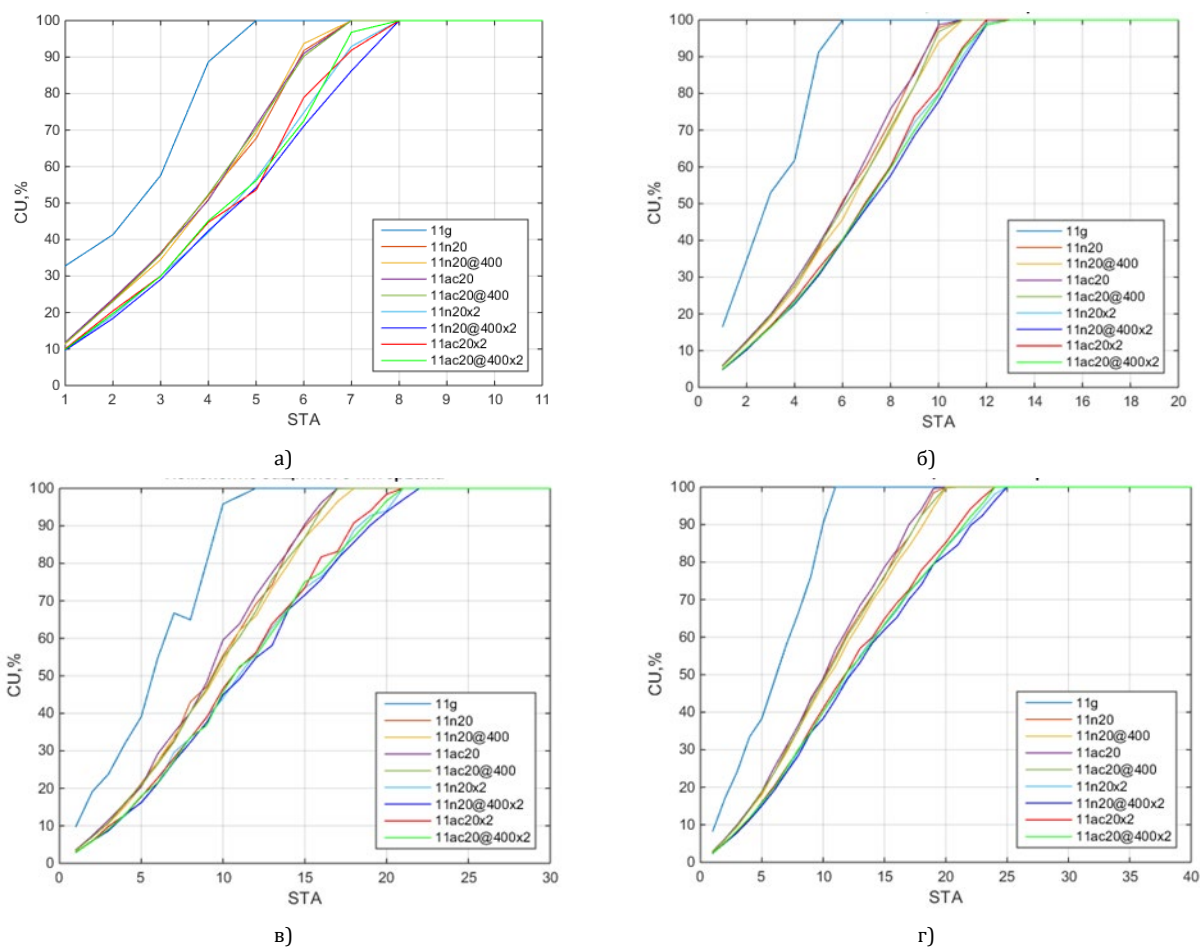


Рис. 1. Зависимость  $CU$  от числа  $STA$  для общего канала 20 МГц для различных видов трафика: а) фоновый; б) видео; в) речевой; г) веб-серфинг

Заметим, что типы трафика, использующие пакеты небольшого размера (до 800 байт), позволяют поддерживать большее количество пользовательских устройств. Это связано с тем, что на канальном уровне происходит обработка пакета целиком, а также с использованием периодов конкуренции. При этом для всех типов трафика существенным является использование MIMO: в этом случае количество поддерживаемых одновременно пользовательских устройств при передаче мультимедийного трафика увеличивается до 20 %. Как видно из графиков, использование технологии без поддержки QoS, в качестве которой была принята IEEE 802.11g, не сказывается на характеристиках качества для фонового трафика, но оказывает существенное влияние на возможности передачи мультимедийного трафика.

Рассмотрим аналогичную ситуацию для агрегированного канала 40 МГц (рисунок 2). Принятая за эталонную технологию без поддержки QoS IEEE 802.11g не бралась в расчет, так как не поддерживает агрегированные каналы.

Использование агрегированного канала приводит к тому, что влияние многолучевого распространения оказывается слабо выраженным, порядка 10 %. Это сравнимо с влиянием изменения защитного интервала, составляющем до 7–9 %. Также отметим, что существенного увеличения количества пользовательских устройств, обслуживаемых с заданным качеством, не произошло. Для трафика видео, речи и веб-серфинга изменения заметны только для сетей с повышенной плотностью устройств, т. е. более 10 STA.

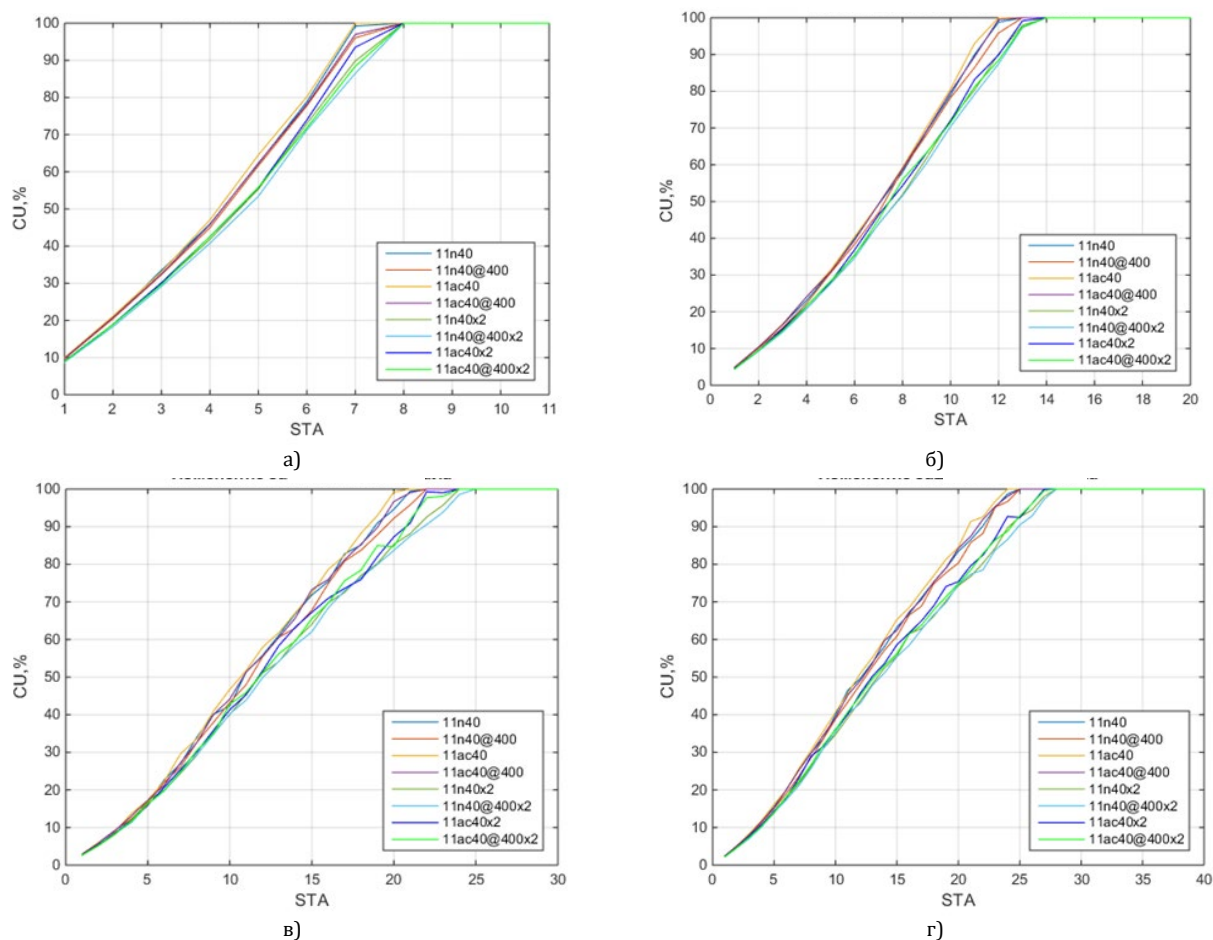


Рис. 2. Зависимость  $CU$  от числа  $STA$  для общего канала 40 МГц для различных видов трафика: а) фоновый; б) видео; в) речевой; г) веб-серфинг

Из графиков (рисунки 1, 2) видно, что наихудший результат для всех видов трафика получен при использовании стандарта IEEE 802.11g, не поддерживающего QoS. Однако для технологий IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac значения очень близки, особенно для полосы пропускания 40 МГц. Проведем расчет математического ожидания и дисперсии для каждого типа трафика (рисунок 3). Из полученных результа-

тов следует, что различия при использовании стандартов IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac при передаче мультимедийного трафика практически нет. При этом увеличение защитного интервала позволяет уменьшить нагрузку на 7,8 %. Таким образом, целесообразно использовать данный механизм только для сетей высокой плотности с большим числом пользователей.

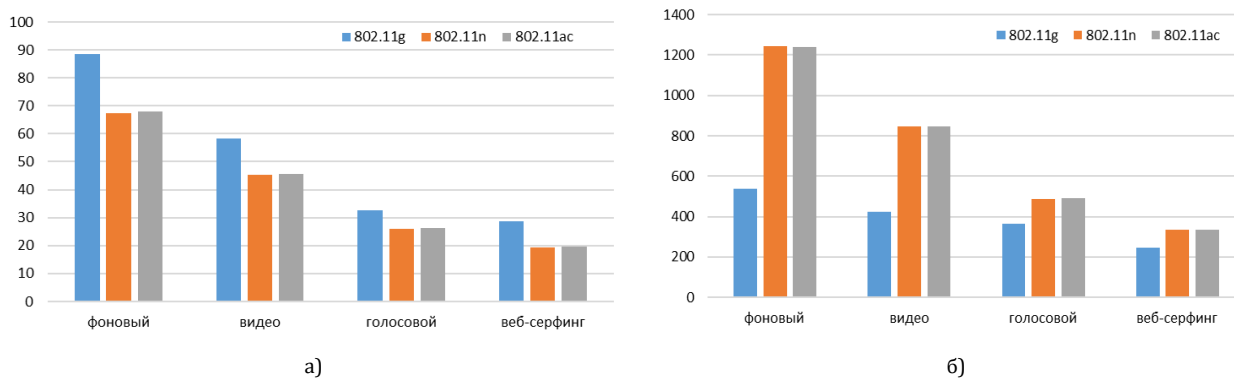


Рис. 3. Математическое ожидание (а) и дисперсия (б) нагрузки на общий канал для различных технологий

### Натурный эксперимент

Для проверки гипотезы, что для различных типов трафика технологии IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac равноценны, а влияние оказывает величина защитного интервала в сочетании с шириной полосы пропускания, проведем натурный эксперимент. Для развертывания сети использовался маршрутизатор Mikrotik RB952Ui-5ac2nD, так как он обладает двумя важными качествами при развертывании SMO-сетей: относительная дешевизна оборудования и функционал, необходимый для проведения данного эксперимента. Диапазон 2,4 ГГц, ширина полосы пропускания установлена 20 МГц. К сети подключен ноутбук Asus n751fx с установленным ПО Wireshark, Microsoft Office Excel и браузером Google Chrome. Роутер подключался к сети провайдера по стандарту Gigabit Ethernet 1000BASE-T. Через сеть провайдера происходит подключение к одному из четырех серверов (twitch.tv, drive.google.com, vk.com, сервер приложения WhatsApp), используемых для генерации трафика в соответствии со стандартом 802.11e (видео, фоновая загрузка, серфинг в сети, передача голоса, соответственно).

После сбора статистики фреймы сортируются и подсчитываются с помощью фильтров Wireshark, экспортируются в MS Office Excel и подвергаются статистической обработке.

Каждый эксперимент разделен на четыре части, в каждой из которых исследуется один из четырех ти-

пов трафика: фоновая загрузка, потоковое видео, передача голоса, веб-серфинг. Фоновая загрузка генерируется с помощью сервиса от компании Google – Google Диск. В браузере на сайте drive.google.com скачивается архив размером 685 Мб. Потоковое видео генерируется с помощью сайта twitch.tv, в качестве браузера использовался Google Chrome. Голосовой трафик генерировался в приложении WhatsApp, продолжительность разговора 20 минут. Трафик веб-серфинга генерировался путем просмотра ленты новостей на сайте социальной сети ВКонтакте (vk.com) и путем просмотра запросов в поисковой системе Google. Эксперимент проводился по три раза для каждой из технологий. Параметры эксперимента приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры эксперимента

Тип трафика	Длительность соединения, мин	Источник трафика
Download (фоновая загрузка)	До конца загрузки файла (685 мб)	Drive.google.com
Video (потоковое видео)	15	Twitch.tv
Voice (передача голоса)	20	WhatsApp
Web-surfing (веб-серфинг)	20	Vk.com и google.com

В процессе эксперимента были получены распределения длин фреймов для каждого типа трафика, рассчитана нагрузка на канал согласно [6] и построены графики (рисунки 4, 5).

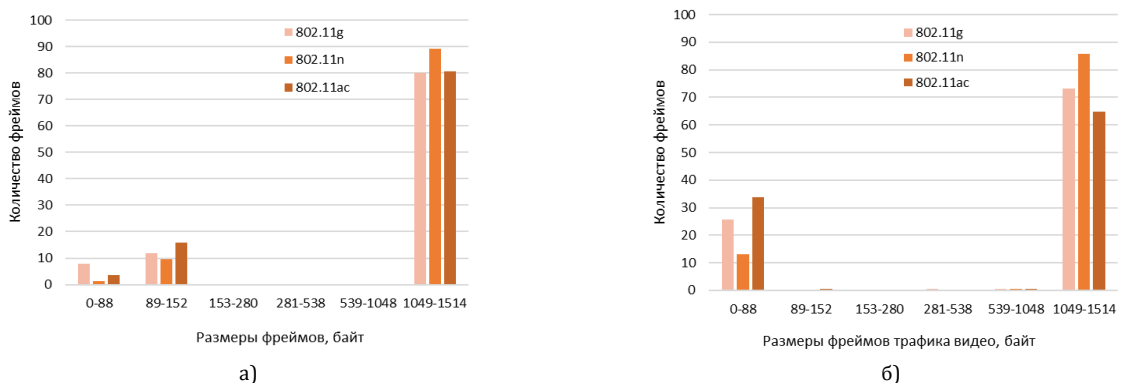


Рис. 4. Распределение фреймов в общем канале в зависимости от технологии, полученное в результате натурального эксперимента для фоновой загрузки (а) и трафика видео (б)

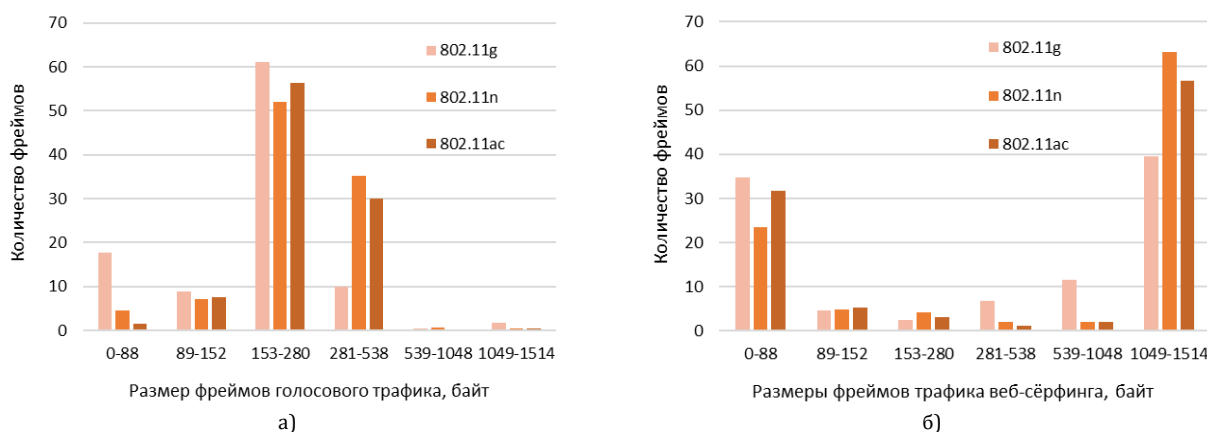


Рис. 5. Распределение фреймов в общем канале в зависимости от технологии, полученное в результате натурального эксперимента для голосового трафика (а) и трафика веб-серфинга (б)

Как видно из полученных графиков, размер фреймов существенно изменяется в зависимости от типа трафика. Так, преобладание фреймов малых размеров (до 90 байт) соответствует квитируванию на различных уровнях модели ISO/OSI. При этом для большинства приложений характерно существенное, до 90 %, количество фреймов, близких к максимальному размеру кадра на канальном уровне IEEE 802.11 (MTU = 1500 байт). Особенно это заметно для трафика видео и фоновой загрузки, что приводит к максимальной загрузке канала.

Проведем оценку расчетных значений и нагрузки, полученной в результате натурального эксперимента (таблица 2).

ТАБЛИЦА 2. Отклонение расчетных значений нагрузки и результатов натурального эксперимента в общем канале, %

Технология	Фоновые загрузки	Видео	Речь	Серфинг
802.11g	17,9	18,5	16,7	16,8
802.11n	14,0	18,1	13,6	13,4
802.11ac	14,8	14,1	12,2	10,0

Таким образом, полученные отклонения расчетных значений загрузки математической модели и результатов натурального эксперимента не превышают 20 %. Следовательно, при учитывающей буферизацию на устройстве коррекции данная мо-

дель может быть использована для прогнозирования нагрузок в Wi-Fi сегментах. Данный результат крайне важен при внедрении «умного переключения» между сетью мобильной связи и Wi-Fi при внедрении гетерогенных сетей.

## Выводы

В статье показано, что при использовании технологий IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac при передаче трафика различных типов выигрыш для конечного пользователя несущественен. При этом очевидно, что существенное влияние на возможность сети поддерживать заданное качество обслуживания оказывает количество подключенных клиентских устройств и величина защитного интервала.

По результатам натурального эксперимента показано, что данная математическая модель может быть использована для оценки возможных нагрузок трафика различных типов, но требуется внести корректировку (учесть буферизацию трафика на устройстве).

В дальнейшем планируется оценить возможность поддержки сетью стандартов IEEE 802.11 качества обслуживания новых типов трафика, в том числе трансляций, виртуальной и дополненной реальности и IoT.

## Список используемых источников

1. Осолков И. Обзор маршрутизатора ASUS RT-AX88U: первый роутер с Wi-Fi 6 // 3DNews. URL: <https://3dnews.ru/981287/obzor-marshrutizatora-asus-rtax88u-perviy-router-s-wifi-6> (дата обращения 18.03.2018)
2. Perahia E. IEEE 802.11n Development: History, Process, and Technology // IEEE Communications Magazine. 2008. Vol. 46. Iss. 7. PP. 48–55.
3. Chen X., Zhai H., Tian X., Fang Y. Supporting QoS in IEEE 802.11e wireless LANs // IEEE Transactions on Wireless Communications. 2006. Vol. 5. Iss. 8. PP. 2217–2227. DOI:10.1109/TWC.2006.1687738
4. IEEE Std 802.11-2012. IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. NY: IEEE, 2012. DOI:10.1109/IEEESTD.2012.6178212
5. Hanzo L., Münster M., Choi B.J., Keller T. OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. 980 p.
6. Lavrukhin V., Simonina O., Volodin E. An experimental study of the key QoS parameters in public Wi-Fi networks // Proceedings of the 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT, St. Petersburg, Russian Federation, 6–8 October 2014). Piscataway, NJ: IEEE, 2014. PP. 198–203. DOI:10.1109/ICUMT.2014.7002102

\* \* \*

# RESEARCH OF AN IMPACT OF THE GUARD INTERVAL ON THE WI-FI QUALITY PARAMETERS

O. Simonina<sup>1</sup>, V. Zank<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

## Article info

Article in Russian

**For citation:** Simonina O., Zank V. Research of an Impact of the Guard Interval on the Wi-Fi Quality Parameters. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2019;5(1):71–77. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2019-5-1-71-77>

**Abstract:** *The article shows that the type of traffic, bandwidth and guard interval in IEEE 802.11 technologies have a minor effect on the quality of service indicators. At the same time, the difference between the multi-service traffic service capabilities between IEEE 802.11n and IEEE 802.11ac is insignificant, and the gain from changing the guard interval can reach 10 % of network bandwidth. The study was conducted on a model and a real-life network.*

**Keywords:** *IEEE, Wi-Fi, Guard Interval, QoS Parameters.*

## References

1. Oskolkov I. Obzor marshrutizatora ASUS RT-AX88U perviy router s Wi-Fi 6 [Overview of First Wi-Fi 6 Router: ASUS RT-AX88U:]. *3DNews*. (in Russ.) Available from: <https://3dnews.ru/981287/obzor-marshrutizatora-asus-rtax88u-perviy-router-s-wifi-6> [Accessed 18 March 2019]
2. Perahia E. IEEE 802.11n Development: History, Process, and Technology. *IEEE Communications Magazine*. 2008;46(7):48–55.
3. Chen X., Zhai H., Tian X., Fang Y. Supporting QoS in IEEE 802.11e wireless LANs. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. 2006;5(8):2217–2227. Available from: <https://doi.org/10.1109/TWC.2006.1687738>
4. IEEE Standard Association. IEEE Std 802.11-2012. *IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. NY: IEEE; 2012. Available from: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2012.6178212>
5. Hanzo L., Münster M., Choi B.J., Keller T. *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*. Chichester: John Wiley & Sons; 2003. 980 p.
6. Lavrukhin V., Simonina O., Volodin E. An experimental study of the key QoS parameters in public Wi-Fi networks. *Proceedings of the 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, ICUMT, St. Petersburg, Russian Federation, 6–8 October 2014*. Piscataway, NJ: IEEE; 2014. p.198–203. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICUMT.2014.7002102>