

РАЗВЕРТЫВАНИЕ Wi-Fi СЕГМЕНТА НА БАЗЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

Н.В. Бабаев, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, n.babaev2016@yandex.ru.

УДК 621.391

Аннотация. В статье проведено сравнение и выбор оборудования стандарта *Wi-Fi* для развертывания сегмента *Wi-Fi* на базе НОЦ «БИС» СПбГУТ. Принято решение разворачивать сеть на оборудовании *Extreme Network AP4521*. В соответствии с данными технической спецификации оборудования была рассчитана дальность связи точки доступа *Wi-Fi* с использованием формулы Г. Фрииса. На основании расчета определено количество необходимых точек доступа для покрытия исследуемой территории. Показана конфигурация точек доступа с помощью *web*-интерфейса и *CLI*, а также составлена карта сети. Проведено изучение существующей радиочастотной обстановки сетей *Wi-Fi* в диапазоне 2,4 ГГц, и скорректированы конфигурации оборудования для предотвращения появления помех, связанных с интерференцией сигналов. Описаны этапы для дальнейших исследований гетерогенных сетей «*Wi-Fi* – мобильная сеть».

Ключевые слова: *Wi-Fi; IEEE 802.11; НОЦ; Extreme Networks; дальность связи.*

DEPLOYMENT OF Wi-Fi SEGMENT ON THE BASIS OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTER

N.V. Babaev, St. Petersburg state university of telecommunications n/a prof. M.A. Bonch-Bruevich.

Annotation. This article presents a comparison of *Wi-Fi* standard equipment for deploying a *Wi-Fi* segment on the basis of the *SEC BIS SPbSUT*. During which it was decided to deploy the network on *Extreme Network AP4521* equipment. Using the data from the technical specification of the equipment, the communication range of the *Wi-Fi* access point was calculated using the module for calculation proposed by G. Friis. Based on the calculation, the number of necessary access points for covering the study area is determined. The configuration of access points using the web interface and *CLI* is shown, as well as a map of the network. The existing radio-frequency environment of *Wi-Fi* networks in the 2,4 GHz band has been studied, and equipment configurations have been adjusted to prevent the occurrence of interference due to signal interference. The stages for further studies of heterogeneous networks «*Wi-Fi* – mobile network» are described.

Keywords: *Wi-Fi; IEEE 802.11; REC; Extreme Networks; communication range.*

Введение

В настоящее время технологии мобильных и локальных беспроводных сетей имеют широкое распространение. Внедряются системы Интернета вещей, базируемые как на локальных, так и на мобильных сетях связи. Объединяющим стандартом беспроводной связи выступает *IEEE 802.11 Wi-Fi (Wireless Fidelity)*, который может быть использован как стандарт для реализации Интернета вещей, а также для предоставления окончательным пользователям услуг беспроводного соединения посредством локальной беспроводной сети. В ходе развития этих систем возникает интерес к проведению исследований, направленных на изучение совместной работы различных систем беспроводной связи. А именно реализация

совместной работы систем мобильной и локальной беспроводной связи. Данная проблематика становится более явной при активном внедрении технологий Интернета вещей, базирующихся на *GSM*, *LTE* и *Wi-Fi*, в первую очередь, из-за большого количества абонентских устройств, которые взаимодействуют с сетью одновременно.

Ни для кого не секрет, что нагрузка на сети мобильной связи в момент совместной работы систем мобильной и локальной беспроводной связи колоссальна, что ведет к росту задержек, разрывам соединения, сбоям в работе сети. Поэтому предлагается производить разгрузку сетей мобильной связи посредством *Wi-Fi* сегмента. Данная концепция получила название «гетерогенные сети». Главной идеей гетерогенных сетей, прежде всего, является односторонняя разгрузка мобильной сети посредством *Wi-Fi* путем переадресации канала трафика с мобильной сети по линии *Wi-Fi* через провайдера связи. Однако интересен и обратный процесс разгрузки *Wi-Fi* сетей посредством мобильной связи. В качестве первой итерации исследования планируется создание и изучение гетерогенной сети между стандартами *Wi-Fi* и *LTE*. Однако прежде, чем говорить о проведении исследований совместной работы оборудования связи различных стандартов, необходимо произвести развертывание самой сети.

В рамках исследовательских работ предлагается реализовать подобный сегмент на базе Научно-образовательного центра «Беспроводные инфотелекоммуникационные сети» (НОЦ «БИС») Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ). НОЦ «БИС» обладает полностью развернутой инфраструктурой мобильной сети *2G*, *3G*, *4G*, включая контроллеры сети, на основе которой необходимо развернуть *Wi-Fi* сегмент.

Исследование по развертыванию сегмента *Wi-Fi* на базе НОЦ «БИС» является первым этапом проведения работ, связанных с гетерогенными сетями. Целью данного этапа является развертывание *Wi-Fi* сегмента на базе НОЦ «БИС» СПбГУТ для проведения дальнейших исследований гетерогенных сетей. Для развертывания сети необходимо определиться с оборудованием, на котором будет реализована система, произвести теоретический расчет дальности связи для определения количества точек доступа, а также произвести конфигурацию каждой точки доступа для работы в сети НОЦ «БИС». Точки доступа должны поддерживать процедуру хэндовера для миграции абонентов между ними.

Для реализации *Wi-Fi* системы было предложено использовать точки доступа, имеющиеся на балансе НОЦ «БИС». К ним относятся профессиональные точки доступа *Extreme Network AP4521*, *Cisco Aironet AG1241*, а также ряд домашних точек доступа *NetGear*, *D-Link*. Проведем краткое сравнение характеристик различных точек доступа (табл. 1) [1-4].

Для развертывания *Wi-Fi* сегмента на базе НОЦ «БИС» предпочтительнее использовать метод питания точек доступа через *PoE (Power over Ethernet)*, исходя из возможного отсутствия розеток 220В на месте установки оборудования, а также в связи со сложностью установки оборудования под навесные потолки. Поэтому домашние точки доступа *Netgear WNR1000* и *D-Link DIR-620* не рассматривались, как варианты для сравнения.

Сравнение характеристик оставшихся моделей *Extreme* и *Cisco* показывает, что выбор становится более чем очевидным. Точка доступа *Extreme* поддерживает стандарт *802.11n*, что в соответствии с [5] позволяет достичь скоростей передачи до 150 Мбит/с. При использовании *MIMO 2x2* максимально возможная допустимая скорость передачи становится 300 Мбит/с. Также модели *Cisco Aironet* могут нормально функционировать только через соответствующий контроллер, в нашем случае *Cisco AIR-CT2504*, что связано с уникальной распиновкой *Cisco* для *PoE*-

соединений. Также при наличии данного контроллера усложняется конфигурация оборудования для поставленных задач.

Таблица 1.

Параметр	<i>Extreme Network AP4521</i>	<i>Cisco Aironet AG1241</i>	<i>Netgear WNR1000</i>	<i>D-Link DIR-620</i>
Стандарты 802.11	<i>a,b,g,n</i>	<i>a,b,g</i>	<i>a,b,g,n</i>	<i>a,b,g,n</i>
Диапазоны частот, ГГц	2,4; 5	2,4; 5	2,4	2,4
Поддержка настройки VLAN	есть	есть	нет	нет
Максимальная мощность излучения, дБм	27	20	15	15
Поддержка MIMO	2x2	нет	нет	нет
Настройка NAT	да	да	нет	нет
Максимальная пропускная способность, Мбит/с	300	54	150	150
Питание, В	48	48	220	220
Поддержка PoE	да	да	нет	нет

В связи с полученными результатами сравнения оборудования, остановимся на точке доступа *Extreme AP4521*, изображенной на рис. 1.



Рисунок 1

Прежде чем устанавливать точки доступа, необходимо произвести математический расчет дальности связи для уточнения количества точек доступа. Расчет проведен по формуле расчета дальности, также известной как «формула Фрииса» [7].

$$P_{RX} = P_{TX} * \frac{G_{TX}G_{RX}\lambda^2}{(4\pi)^2R^2} \quad (1)$$

где: P_{RX} – мощность, полученная от приемной антенны; P_{TX} – мощность, подаваемая на передающую антенну; G_{TX} , G_{RX} – коэффициенты усиления приемной и передающей антенны; $\lambda = \frac{c}{f}$ – длина волны (где $c=3 \cdot 10^8$ м/с).

С помощью преобразования формулы (1) для вычисления в децибелах получаем следующее выражение:

$$P_{RX}(\text{дБм}) = P_{TX}(\text{дБм}) + G_{TX}(\text{дБ}) + G_{RX}(\text{дБ}) + 20 \lg(\lambda) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(R) \quad (2)$$

Несмотря на то, что данная формула описывает распространение радиоволн в идеальных условиях без учета затухания сигнала в свободном пространстве, а также при прохождении через препятствия, данного выражения достаточно для определения максимально-возможного значения дальности связи. В соответствии со спецификацией оборудования *Extreme Network AP4521* [1], максимальная мощность излучения точки доступа составляет 27 дБм (однако, для расчета и конфигурирования будем использовать значение 20 дБм), коэффициент усиления антенны – 1 дБи, в качестве усреднения выберем частоту для расчета, равную центральной частоте 6-го канала *Wi-Fi* – 2437 МГц.

В качестве приемной стороны будем считать типовой мобильный терминал с чувствительностью приемника *Wi-Fi*-модуля – (минус) 98 дБм и коэффициентом усиления принимающей антенны – 1 дБи.

Результатом расчета в соответствии с (2) является значение максимально возможной дальности связи в прямой видимости при заданных выше исходных данных. Дальность связи составляет 24 метра, с учетом вносимого математически затухания в 20 дБ, при прохождении сигнала через стены [8]. Именно данное значение дальности связи будем использовать для последующего планирования сети *Wi-Fi*.

Следующим шагом является установка точек доступа на территории НОЦ «БИС». На рис. 2 представлена часть схемы этажа НОЦ «БИС» с планируемой установкой точек доступа.



Рисунок 2

На рисунке отмечены полученные в ходе расчета данные о радиусе покрытия каждой точки доступа. С учетом того, что НОЦ «БИС» принадлежат аудитории 400-406, данные точки покрывают территорию в полном объеме. Исследование по гетерогенным сетям планируется проводить в аудиториях 402,

404, 406. Именно эти аудитории оборудованы базовыми станциями мобильной связи, а также устройствами Интернета вещей, поэтому наличие там *Wi-Fi* сети является первостепенной задачей. Как видно из рис. 2, достаточно трех точек доступа для развертывания *Wi-Fi* сегмента на данной территории. Точки доступа коммутированы с серверным оборудованием *Cisco Catalyst* посредством *PoE*-соединения, при котором часть жил кабеля «витая пара» используются для запитывания оборудования.

Следующим этапом развертывания сегмента *Wi-Fi* является конфигурация точек доступа под сетевую архитектуру НОЦ «БИС». Администратором сети НОЦ «БИС» была выделена подсеть 192.167.3.x для проведения исследований гетерогенных сетей. Данная сеть реализована на коммутаторе *Cisco Catalyst 3560* в силу того, что именно он поддерживает *PoE*-соединения. Коммутатор сконфигурирован для проброса всех портов на основной шлюз, то есть на нем прописан *trunk* порт. Данный факт крайне удобен для развертывания *Wi-Fi* сегмента, потому что не придется прописывать каждую точку доступа в конфигурационный файл *Cisco Catalyst*.

Перейдем к конфигурации точки доступа *Extreme AP4521*. В соответствии со спецификацией оборудования есть два пути создания конфигурации на данном устройстве: первый – через *web*-интерфейс, изображенный на рис. 3, второй – через *CLI (Console Line Interface)*. В рамках статьи рассмотрены оба варианта, но с акцентом на визуализацию *web*-интерфейса.

Опустим большую часть процесса конфигурации данных точек доступа, но остановимся на некоторых важных деталях, без которых могут возникнуть трудности.

Во-первых, прежде чем приступить к конфигурации, необходимо «откатить» точку доступа к заводским настройкам, что возможно реализовать только через *CLI*.

Во-вторых, заводской *IP*-адрес точек доступа зашифрован в их *MAC*-адресе. Например, чтобы подключиться к точке доступа *AP1* с *MAC*-адресом: *xx-xx-xx-xx-5E-C8*, необходимо последние две шестнадцатеричные последовательности перевести в десятичный вид, и это будет как раз последними цифрами *IP*-адреса устройства. То есть, заводским *IP*-адресом точки доступа будет 169.254.94.200.

В-третьих, самым хитрым нюансом работы с точкой доступа *Extreme AP4521* стала настройка *Vlan* и *NAT* между ними. В силу программной особенности реализации данной точки доступа, его физические интерфейсы (*Ethernet, Radio*) и виртуальные отделены. Однако при настройке возникают проблемы при формировании *DHCP*-пулов путем создания внутреннего *Vlan*. То есть, при настройке *Vlan1* на внешнюю подсеть и *Vlan2* на внутренний *DHCP*-пул, получается следующая ситуация: либо точка доступа предоставляет абонентам внутренний *DHCP*-пул без доступа к интернету, игнорируя *Vlan1*; либо абоненты сети получают *IP*-адрес из подсети 192.167.x.x общего шлюза, при этом создавая шум в сетевой архитектуре НОЦ «БИС». На помощь в данной ситуации приходит *NAT* для проброса *IP*-адресов из внутренней подсети во внешнюю и наоборот.

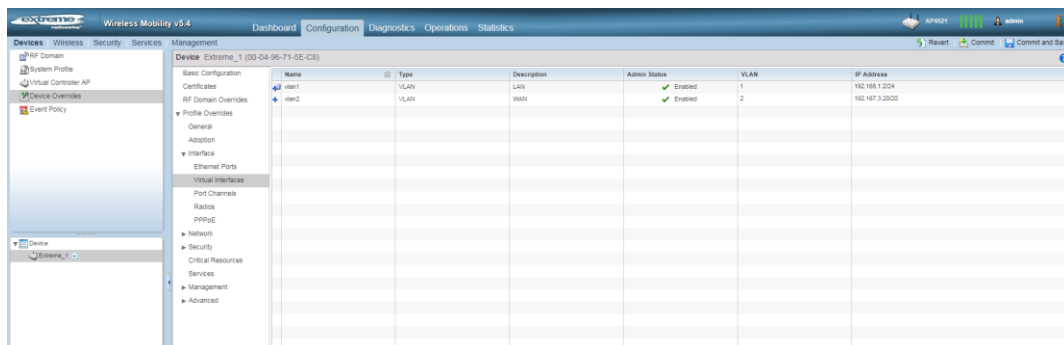


Рисунок 3

Настройка точки доступа через *CLI* происходит в соответствии с инструментарием, описанным в [6]. Внешний вид сконфигурированных точек доступа через *CLI* показан на рис. 4, где 4 (а) – параметры настройки, 4 (б) – параметры настройки *DHCP*. Реализация *DHCP*-пула для абонентских терминалов представлена на рис. 4 (б). Именно на этих рисунках можно наблюдать наличие тэгов *NAT* для *Vlan1*, *Vlan2*, а также назначение *DNS*-сервера внешней сети. При конфигурации *DHCP*-пула каждая точка доступа получает определенный пул из подсети 192.168.1.x, например, *AP1* – получила пул для абонентов 192.168.1.7 – 192.168.1.29, с исключением из выдачи *IP*-адресов других планируемых *DHCP*-серверов (192.168.1.1-192.168.1.6), чтобы не возникало ситуаций с выдачей другими точками доступа уже используемых адресов из пула.

```

ap4521 00-04-96-71-5E-C8
use profile default-ap4521
use rf-domain default
hostname Extreme_1
ip name-server 172.16.4.13
ip domain-name Bonch
area 402
ip default-gateway 192.167.1.1
ip default-gateway failover
interface radiol1
wlan nocbis bss 1 primary
interface gel1
switchport mode access
switchport access vlan 2
interface vlan1
description LAN
ip address 192.168.1.2/24
ip address zeroconf secondary
ip nat inside
interface vlan2
description WAN
ip address 192.167.3.20/20
ip nat outside

```

```

dhcp-server-policy default
dhcp-pool vlan1
network 192.168.1.0/24
address range 192.168.1.7 192.168.1.29
excluded-address range 192.168.1.1 192.168.1.6
domain-name LAN
default-router 192.168.1.2
dns-server 172.16.4.13 192.168.1.2 192.167.1.1

```

Рисунок 4

Остальная настройка точки доступа не являлась проблемой. Была создана *Wi-Fi* сеть с *SSID* – *nocbis*, в диапазоне частот 2400 МГц с излучаемой мощностью 20 дБм. Процесс миграции абонентов от точки доступа к точке доступа или процедура хэндовера происходит посредством *SSID* и сравнения уровня сигнала на абонентском устройстве. Данный процесс описан в спецификациях 802.11 [5].

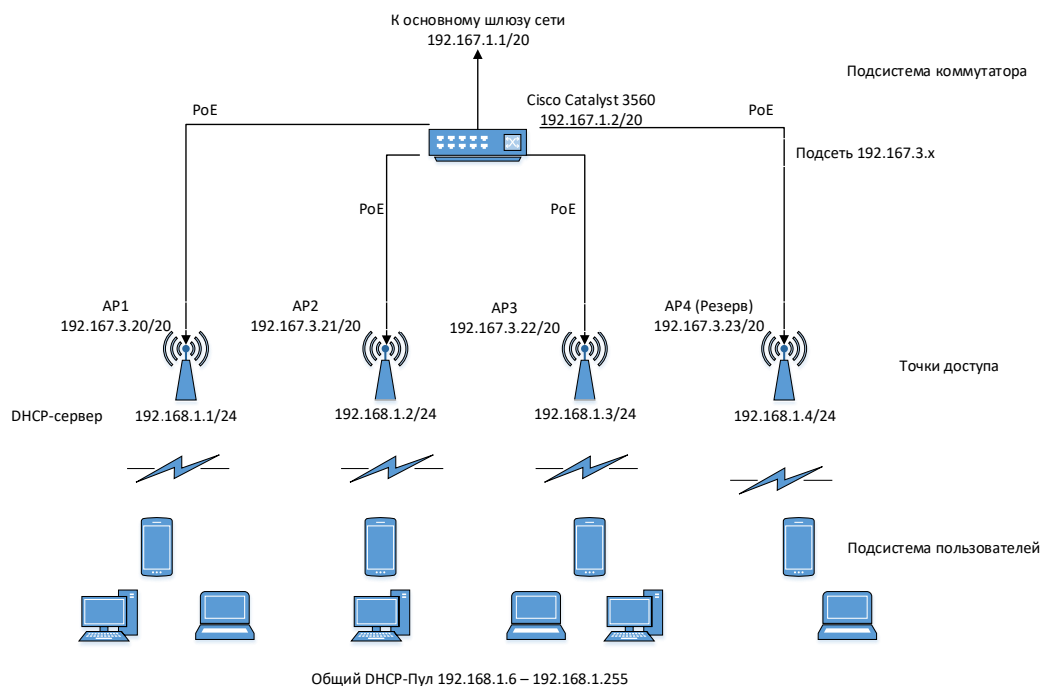


Рисунок 5

Промежуточный итог продемонстрирован на рис. 5. *Wi-Fi* сегмент был развернут на базе существующей сетевой архитектуры НОЦ «БИС». Точки доступа сконфигурированы на выдачу *IP*-адресов из общего пула на все точки доступа. Самим точкам доступа назначены *IP*-адреса из подсети 192.167.3.x. На рис. 5 изображена сетевая архитектура.

Проверка доступности точек доступа проведена с помощью команды *traceroute* с устройства, подключенного к сети НОЦ «БИС», но не являющегося абонентом точек доступа. Результат проведения проверки показан на рис. 6, на основании которого можно сделать вывод о доступности всех вышеописанных точек доступа.

```
Extreme_1*> tracerout 192.167.3.21
traceroute to 192.167.3.21 (192.167.3.21), 30 hops max, 38 byte packets
 1 192.167.3.21 (192.167.3.21) 1.015 ms 0.552 ms 0.430 ms
Extreme_1*> tracerout 192.167.3.22
traceroute to 192.167.3.22 (192.167.3.22), 30 hops max, 38 byte packets
 1 192.167.3.22 (192.167.3.22) 10.707 ms 0.585 ms 0.436 ms
```

Рисунок 6

Далее были проверены качественные параметры радиосигнала и, в случае необходимости, произведены корректировки выбранных автоматически каналов *Wi-Fi*. С помощью мобильного терминала и программного обеспечения *Wi-Fi Analyze* произведено измерение уровня *Wi-Fi* сигнала, а также исследование радиочастотной обстановки существующих *Wi-Fi* сетей. Результаты проведенных измерений по трем точкам в соответствии с рис. 2 (первая – аудитория 403, вторая – коридор аудитория 402, третья – коридор аудитория 406), представлены на рис. 7.

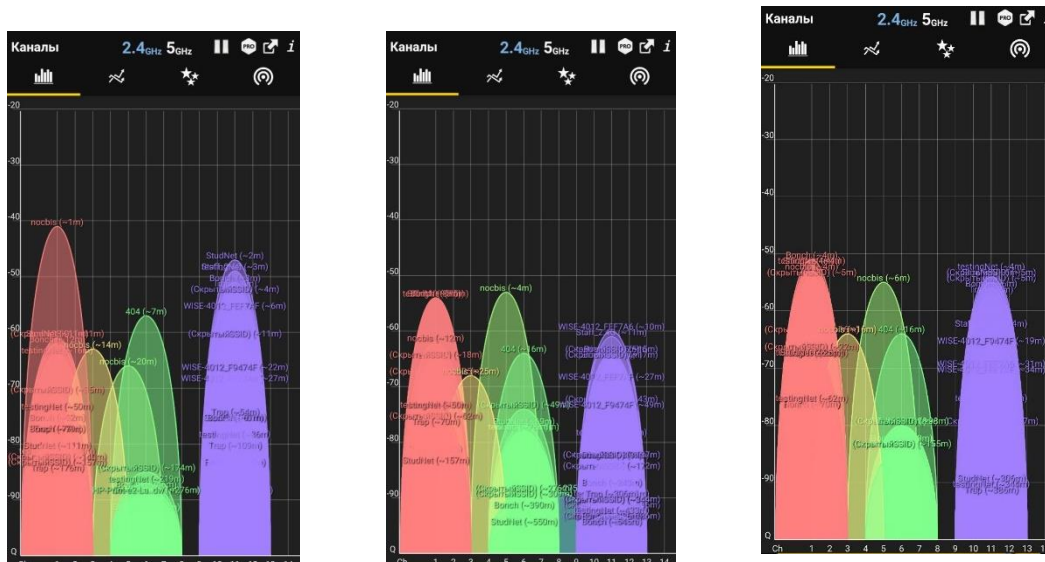


Рисунок 7

Как видно из рис. 7, первый канал *Wi-Fi* забит множеством сетей, именно на него автоматически сконфигурировало сеть *AP1*. В данном случае сигнал от нашей точки доступа может быть принят с ошибкой из-за возникновения интерференций по основному каналу. Точки доступа *AP2* и *AP3*, находящиеся на каналах 3 и 5, соответственно находятся на более-менее свободных каналах, однако их границы полос частот накладываются друг на друга. Поэтому все точки доступа необходимо переконфигурировать на каналы 3, 8, 13 во избежание появления интерференции. На рис. 8 показана скорректированная радиочастотная обстановка *Wi-Fi* сетей после смены частотных каналов: а – 402, б – коридор 403, в – коридор 406.

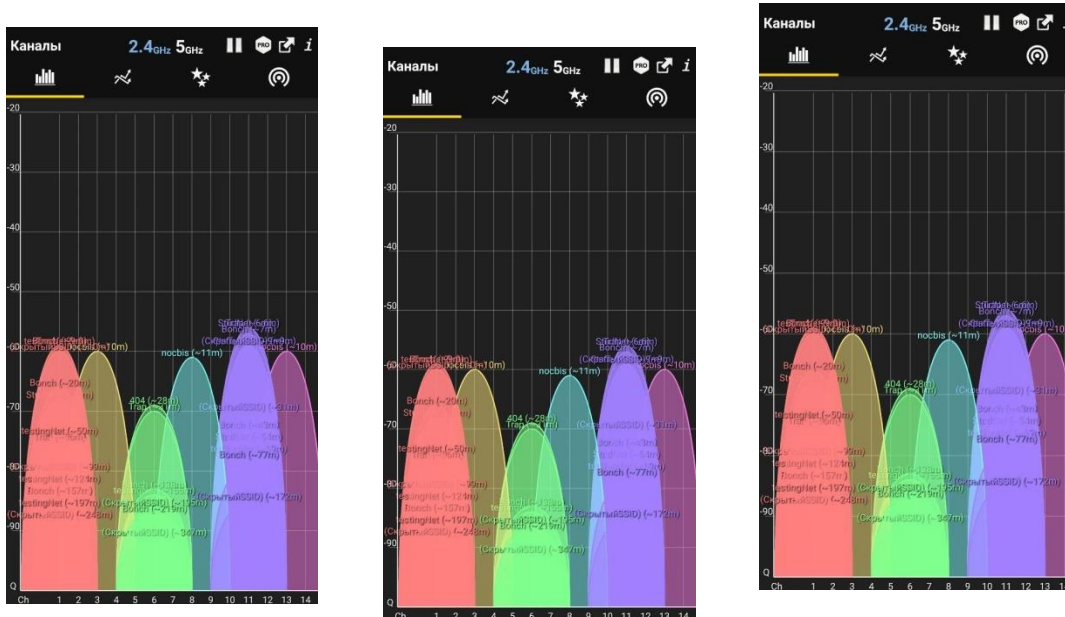


Рисунок 8

На рис. 8 видно, что ситуация с наложением каналов исчезла, то есть, на каналах больше нет других *Wi-Fi* сетей, из чего следует вывод о грамотном выборе

частотных каналов для данных точек доступа. Уровни сигналов точек находятся на плюс минус одном уровне, что свидетельствует об уверенном приеме информации.

На данном этапе развертывание *Wi-Fi* сегмента на базе НОЦ «БИС» закончено, дальнейшие работы планируются вести в области налаживания контакта между оборудованием мобильной связи и *Wi-Fi* сегмента.

Заключение

В рамках данной работы проведен сравнительный анализ оборудования *Wi-Fi*, в ходе которого выбрана точка доступа *Extreme AP4521* для развертывания сегмента *Wi-Fi* на территории НОЦ «БИС». Также был произведен расчет дальности связи точки доступа с использованием формулы Гарольда Фрииса, на основании которого выявлено требуемое количество точек доступа, необходимых для покрытия территории НОЦ «БИС».

Продемонстрированы некоторые особенности конфигурации точек доступа *Extreme AP4521* через различные среды конфигураций, и составлена карта сети *Wi-Fi* сегмента с внешней сетью. Была изучена радиочастотная обстановка сетей *Wi-Fi* на исследуемой территории и выявлено, что автоматический выбор частотного канала может быть крайне нежелательным. В ручном режиме скорректированы частотные каналы на всех точках доступа во избежание появления помех, связанных с интерференцией сигнала.

Данное исследование стало первым этапом для проведения совместных работ по разгрузке мобильных сетей через сети *Wi-Fi*, являющихся концептом гетерогенных сетей. Следующим этапом исследования является налаживание маршрутизации между *Core*-частью мобильной сети *LTE* и точками доступа, что будет описано в дальнейших работах.

Литература

1. Extreme Networks Altitude 4521 Datasheet, <https://guidessimo.com/document/754242/extreme-networks-altitude-4521-series-wireless-access-point-64.html>, 27.04.2020.
 2. Cisco Aironet 1240AG Series 802.11A/B/G Access Point Data Sheet, https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7900-series/product_data_sheet0900aecd8031c844.html, 27.04.2020.
 3. Netgear RangeMax 150 Wireless Router WNR1000 Datasheet, http://www.downloads.netgear.com/files/GDC/WNR1000V2/wnr1000_ds_29jan09.pdf, 27.04.2020.
 4. D-Link DIR-620 Data Sheet, http://ftp.dlink.ru/pub/Router/DIR-620/Description/RevA/1_3_3/DIR-620_User%20Manual_v.1.3.3_21.05.12_RU.pdf, 27.04.2020.
 5. 802.11n-2009 - IEEE Standard for Information technology - Local and metropolitan area networks-- Specific requirements.
 6. Педжман Рошан, Джонатан Лиэри, Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11, Руководство Cisco. И.Д. «Вильямс», 2004. – 296 с.
 7. Бабаев Н.В., Симонина О.А. Методика модернизации системы транкинговой связи стандарта TETRA // Труды учебных заведений связи, 2018. – Т. 4. – № 2. – С. 36-43.
- Коэффициенты затухания сигнала *Wi-Fi* при прохождении чере