

УДК 004.725.5

## Исследование возможности снижения уровня помех в сети IEEE 802.11ax путем частичного использования групп поднесущих

Викулов А. С. ✉, Тесаловская Д. Е.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи:** одной из основных задач, решаемых при планировании беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11, является борьба с межканальными помехами, заметно снижающими отношение сигнал/шум и, как следствие – скорость передачи согласно схеме модуляции и кодирования. Кроме того, при этом увеличивается вероятность перепосылки кадров. **Целью работы** является построение модели и исследование возможности снижения помех в канале передачи путем частичного использования групп поднесущих. **Используемые методы:** методы математического анализа, моделирование спектра сигнала в канале. **Новизна:** в отличие от существующих подходов, в рамках сделанных допущений модели в работе получены количественные оценки возможного выигрыша скорости в канале, а также предложена пошаговая схема соответствующего метода. **Результат:** в данной работе рассмотрена возможность повышения совокупной скорости многопользовательской передачи данных в условиях наличия помехи, путем частичного использования групп поднесущих в канале IEEE 802.11ax. Представлена модель межканальных помех, в которой оценивается отношение сигнал/шум через расчет спектров мощности целевого сигнала и сигнала-помехи. Получен диапазон параметров модели, при которых обеспечивается выигрыш в совокупной многопользовательской скорости передачи данных (по сравнению с полным использованием всех групп поднесущих). **Теоретическая/практическая значимость:** метод может быть использован для дополнительного повышения скорости в многопользовательском канале в условиях наличия помех от прочих сетей такого же стандарта.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть доступа, IEEE 802.11ax, межканальные помехи, отношение сигнал/шум, скорость передачи в канале, группа поднесущих

### Введение

В последнее десятилетие во всем мире растет потребность в беспроводных соединениях, особенно в сфере бизнеса и IT-технологий [1]. В настоящее время технология беспроводных сетей на основе семейства стандартов IEEE 802.11 [2] (Wi-Fi) находится практически вне конкуренции в локальных сетях. Создание любой беспроводной системы связи всегда подразумевает использование некоторого ресурса канала, а эффективность такой системы в первую очередь оценивается характеристиками использования ее спектральных, временных, энергетических и пространственных ресурсов [3].

#### Библиографическая ссылка на статью:

Викулов А. С., Тесаловская Д. Е. Исследование возможности снижения уровня помех в сети IEEE 802.11ax путем частичного использования групп поднесущих // Информационные технологии и телекоммуникации. 2023. Т. 11. № 3. С. 13–26. DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-3-13-26

#### Reference for citation:

Vikulov A., Tesalovskaya D. Analysis of Possible Interference Effects Minimization in IEEE 802.11ax Network by Partial Allocation of Resource Units. *Telecom IT*. 2023. Vol. 11. Iss. 3. PP. 13–26 (in Russian). DOI: 10.31854/2307-1303-2023-11-3-13-26

Минимизация негативных эффектов межканальных помех [4] является одной из важнейших задач, решаемых при всем жизненном цикле эксплуатации беспроводных локальных вычислительных сетей (БЛВС) IEEE 802.11. Возникновение межканальных помех фундаментально связано с тем, что определенное стандартом [5] расположение в спектре частотных каналов различного типа не гарантирует полное отсутствие их взаимного влияния. Кроме того, факт отсутствия тактовой синхронизации в технологии IEEE 802.11 между различными точками доступа исключает возможность временного разделения канального ресурса.

При решении проблемы распределения спектрального ресурса канала применяются методы мультиплексирования и множественного доступа. Современная реализация IEEE 802.11 [2] использует комбинацию двух методов модуляции: мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM, аббр. от англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing) и множественный доступ с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA, аббр. от англ. Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

OFDMA был использован в дополнении стандарта IEEE 802.11ax [6], OFDM используется в предыдущих дополнениях стандарта, но он продолжает использоваться в 802.11ax для кадров управления и контроля, для обеспечения обратной совместимости с устройствами предыдущих поколений.

OFDMA представляет собой механизм множественного доступа на основе OFDM, в котором разным пользователям выделяются различные группы поднесущих, что позволяет осуществлять одновременную передачу данных одного или нескольких пользователей в восходящем или нисходящем потоке. При использовании OFDMA поднесущие разделены на несколько групп, где каждая группа формирует ресурсный блок RU (аббр. от англ. Resource Unit). Увеличением размера RU обеспечивается большая канальная скорость передачи (в рамках схемы модуляции и кодирования MCS – аббр. от англ. Modulation and Coding Scheme). Однако более крупные RU оставляют меньший доступный спектральный ресурс канала для одновременной передачи другим клиентским устройствам.

Задача минимизации межканальных помех рассматривалась ранее в [7–8]. В [7] предложен алгоритм оценки искажений OFDM-сигналов, связанных с межканальными помехами, который позволяет снизить вероятность битовой ошибки, а в [8] представлены методы компенсации межканальных помех и повышения спектральной эффективности систем связи с ортогональным частотным мультиплексированием.

Еще раз отметим, что предусмотренные в стандарте каналы не означают отсутствия возможности взаимных помех между ними, а формально «непересекающиеся» номера каналов часто, при детальном рассмотрении, таковыми не являются. Что касается выбора каналов в частотном плане, то данный аспект остается полностью на усмотрение проектировщика и эксплуатанта БЛВС. Кроме того, поскольку стандарт не регламентирует процесс назначения RU для отдельных клиентских устройств, оставляя конкретную реализацию на усмотрение производителя, существует ряд

сценариев, которые могут оказаться интересными с точки зрения возможных режимов работы, имеющих целью минимизировать межканальные помехи. В связи с этим данная работа посвящена поиску потенциальной возможности повышения скорости в многопользовательском канале в условиях наличия помех от прочих сетей IEEE 802.11 путем частичного использования RU в канале.

### Постановка задачи

Зададимся целью исследовать возможность путей минимизации негативных эффектов межканальных помех в сетях 802.11ах. Предположим, что если использовать только часть частотного ресурса канала, то ценой неполного использования спектрального ресурса канала можно уменьшить количество помех в канале и тем самым повысить совокупную скорость передачи (т. е. MCS), используя более скоростные схемы модуляции. Таковую возможность дает концепция разделения ресурсов канала на отдельные RU различного размера. Далее попробуем найти диапазон условий, в котором данное решение будет оправданным.

Будем рассматривать следующую модельную конфигурацию. Имеются две точки доступа (ТД), работающие на различных известных каналах, сигнал от которых принимается с известным уровнем. Схема эксперимента приведена на рисунке 1.

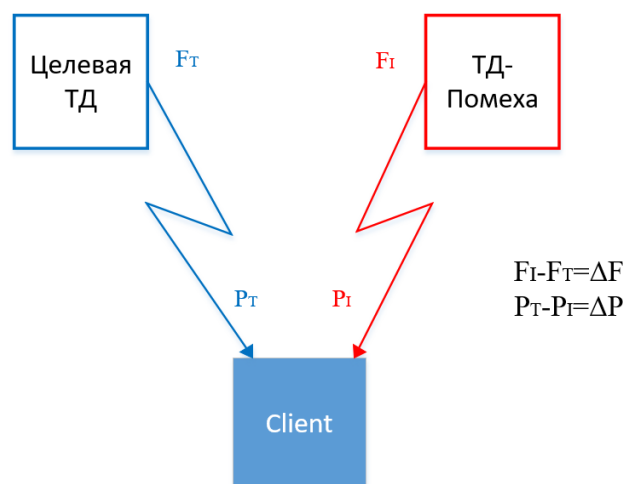


Рис. 1. Модель взаимодействия

Сделаем следующие допущения:

- целевая ТД всегда доступна для клиента с уровнем приема  $P_T$ , равным 55 дБм;
- целевая ТД использует канал с центральной частотой  $F_T$ , МГц;
- используется один пространственно-временной поток;
- передача производится в каналах типа HE20 (*аббр. от англ. High Efficiency*), т. е. в дополнении IEEE 802.11ах, шириной 20 МГц;
- будем рассматривать работу в ISM-диапазоне (2,4 ГГц), где центральные частоты смежных каналов отстоят друг от друга на 5 МГц;

- используется короткий защитный интервал GI (*аббр. от англ. Guard Interval*) продолжительностью 0,8 мкс;
- сигнал ТД-помехи принимается клиентом с разницей относительно уровня приема целевой ТД на величину  $\Delta P$ , дБм;
- центральная частота рабочего канала ТД-помехи отличается от центральной частоты целевой ТД на величину  $\Delta F$ , МГц;
- ТД-помеха использует всю доступную ширину спектра, определяемую ее спектральной маской;
- вероятность занятости всех каналов равна 100 %;
- все прочие помехи отсутствуют;
- уровень фонового шума  $P_{noise}$  в рассматриваемом участке спектра не зависит от частоты и равен  $10^{-9}$  мВт (–90 дБм);
- все RU в пределах одного и того же  $T_{SYM}$  передаются в рамках одинаковой MCS.

Таким образом, отношение сигнал/шум (SNR, *аббр. от англ. Signal-to-Noise Ratio*) в отсутствие помехи составляет 35 дБ, что является достаточным для работы наиболее скоростной MCS [6].

Целевая ТД в канале HE20 может иметь до 242 поднесущих (за вычетом пилотных). Рассмотрим ситуацию, при которой негативное влияние межканальной помехи может быть минимизировано ценой отказа от полного использования спектрального ресурса канала HE20. Таким образом, целевая ТД может работать, например, на половине от общего числа поднесущих, на 3/4, либо на 7/8 от общего числа в зависимости расположения ТД-помехи в спектре принимаемого сигнала. Такие конфигурации будут использовать, соответственно, 106 + 26 RU, 106 + 26 + 52 RU и 106 + 26 + 52 + 26 RU.

Частичное использование спектрального ресурса канала в IEEE 802.11ax не предполагается в стандарте как механизм реагирования на межканальные помехи. Тем не менее аналогичный подход может использоваться в случае, например, работы на агрегированных каналах, например HE40 или HE80. В нашем случае, при рассмотрении беспроводной сети стандарта IEEE 802.11 за критерий эффективности использования ресурса канала примем достижение максимальной совокупной скорости однонаправленной передачи данных всем пользователям.

### Модель зависимости скорости передачи в канале от значения отношения сигнал/шум

Скорость передачи в канале (*DataRate*, Мбит/с) в рамках MCS определяется SNR. Так, например, для OFDMA канала минимальные пороговые значения SNR для соответствующих индексов MCS приведены в стандарте [6]. В рассматриваемом примере возьмем канал типа HE20 (242 RU), его половину (106 + 26 RU), а также случаи многопользовательской работы с объединением ресурсов канала по схемам: 106 + 26 + 52 RU и 106 + 26 + 52 + 26 RU [9]. В таблице 1 приведены указанные значения [6].

Таблица 1 – Характеристики схем модуляции и кодирования для различных конфигураций RU

№MCS	SNR, дБ	Число бит на символ для различных конфигураций RU, $N_{DBPS}$			
		106 + 26 RU	106 + 26 + 52 RU	106 + 26 + 52 + 26 RU	242 RU
0	5	63	87	99	117
1	10	126	174	198	234
2	13	189	261	297	351
3	16	252	348	396	468
4	19	378	522	594	702
5	22	504	696	792	936
6	25	567	783	891	1053
7	27	630	870	990	1170
8	30	756	1044	1188	1404
9	32	840	1160	1320	1560
10	35	1050	1450	1650	1950

Функция  $N_{DBPS}(SNR)$ , имеет ту же форму, что и  $DataRate(SNR)$  и в предлагаемой модели зависит только от SNR, поэтому для практического расчета необходимо знать значение последнего, являющееся параметром модели. Выполним аппроксимацию  $N_{DBPS}(SNR)$  в виде кусочно-линейной функции. Кусочно-линейная функция отражает тенденцию изменения числа бит полезной информации, передаваемых в одном OFDM-символе при изменении SNR с учетом линейной интерполяции между значениями, предусмотренными в стандарте.

Для случая полного использования RU (т. е. правый столбец таблицы 1) в канале функция имеет вид:

$$N_{DBPS242}(SNR) = \begin{cases} 23.4SNR & , 0 \leq SNR \leq 10 \\ 39SNR - 156 & , 10 < SNR \leq 16 \\ 78SNR - 780 & , 16 < SNR \leq 22 \\ 39SNR + 78 & , 22 < SNR \leq 25 \\ 58.5SNR - 409.5 & , 25 < SNR \leq 27 \\ 78SNR - 936 & , 27 < SNR \leq 32 \\ 130SNR - 2600 & , 32 < SNR \leq 35 \end{cases} \quad (1)$$

Аналогично выглядят аппроксимированные функции для прочих рассматриваемых случаев использования RU в канале.

На рисунке 2 приведены четыре зависимости  $N_{DBPS}(SNR)$  для дополнения стандарта IEEE 802.11ax при работе в частотном канале HE20 106 + 26 RU, 106 + 26 + 52 RU, 106 + 26 + 52 + 26 RU и 242 RU.

Скорость передачи в канале будет определяться как отношение числа бит на символ к времени передачи одного символа  $T_{SYM}$  с учетом межсимвольного интервала:

$$DataRate = \frac{N_{DBPS}}{T_{SYM}} \quad (2)$$

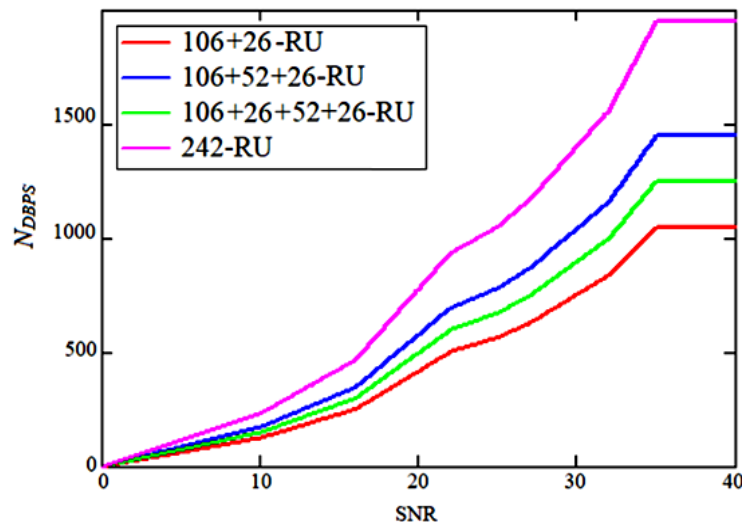


Рис. 2. Зависимость  $N_{DBPS}(SNR)$  для канала HE20 при различных RU

Теперь, имея выражения (1) и (2), нам необходимо получить способ расчета SNR от параметров, которые определяют взаимное влияние ТД-помехи на целевой канал. Такими параметрами являются величины  $\Delta F$  и  $\Delta P$ .

### Модель межканальных помех в спектре

Влияние эффектов межканальных помех будем оценивать путем оценки пересечения спектра мощности целевого сигнала  $STw(f)$  (мВт) и спектра мощности сигнала  $SIw(f)$  (мВт), создающего помеху [10]. Определим спектральную маску  $ST(f)$  как распределение уровня мощности (дБм) полезного сигнала на спектре, а маску  $SI(f)$  как распределение уровня мощности (дБм) сигнала, создающего помеху. Спектральная маска канала типа HE приведена на рисунке 3.

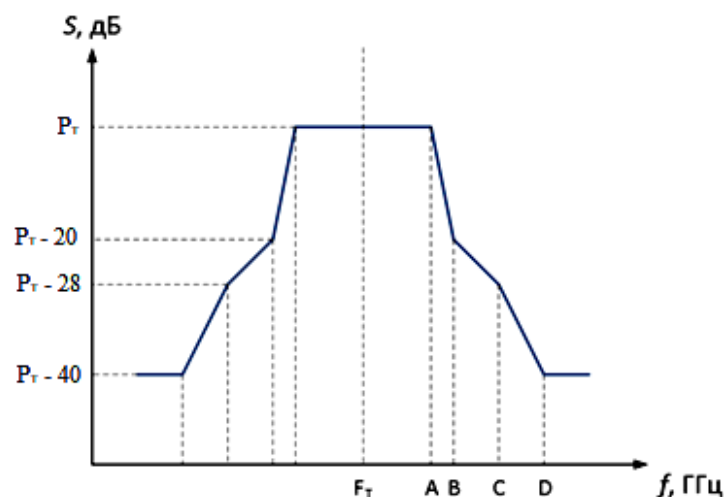


Рис. 3. Спектральная маска целевого канала

Характеристики спектральной маски приведены в таблице 2.



Таблица 2 – Характеристики спектральной маски канала

Тип канала	Параметр полуширины каналов различных типов, МГц			
	A	B	C	D
HE20 (242 RU)	9,75	10,5	20	30
HE40 (484 RU)	19,5	20,5	40	80
HE80 (996 RU)	39,5	40,5	80	120
HE160 (1992 RU)	79,5	80,5	160	240

Аналитически функцию распределения уровня сигнала  $S(f)$  для канала соответствующего типа (см. таблицу 2) выразим в следующем виде:

$$S(f) = \begin{cases} -40 & , f < -D \\ 12 \frac{f}{D-C} + 12 \frac{D}{D-C} - 40 & , -D \leq f < -C \\ 8 \frac{f}{C-B} + 8 \frac{C}{C-B} - 28 & , -C \leq f < -B \\ 20 \frac{f}{B-A} + 12 \frac{A}{B-A} & , -B \leq f < -A \\ 0 & , -A \leq f < A \\ -20 \frac{f}{B-A} + 20 \frac{A}{B-A} & , A \leq f < B \\ -8 \frac{f}{C-B} + 8 \frac{C}{C-B} - 28 & , B \leq f < C \\ -12 \frac{f}{D-C} + 12 \frac{D}{D-C} - 40 & , C \leq f < D \\ -40 & , f \geq D \end{cases} \quad (3)$$

На рисунке 4 ниже приведены спектральные маски уровня сигнала  $S(f)$  канала соответствующего типа для трех случаев частичного использования RU в канале. Суть модели межканальных помех состоит в учете эффектов перекрытия спектральных масок целевого (рассматриваемого) канала с центральной частотой  $F_T$  и канала, создающего помеху, с центральной частотой  $F_I$ . Влияние эффектов межканальных помех будем оценивать путем расчета площади пересечения спектров мощности целевого сигнала и сигнала ТД-помехи. При этом для целевого сигнала будем учитывать только интегральную площадь в диапазоне частот, соответствующую поднесущим. Пример пересечения площадей спектров каналов идентичной конфигурации приведен на рисунке 5, где проиллюстрирован случай для одной помехи при  $\{F_I > F_T; P_T > P_I\}$ .

Поскольку ключевым параметром, определяющим выбор MCS, является SNR, рассмотрим в этом свете сигнал, создающий помеху. Принимая во внимание (3) и переходя к абсолютным значениям, маска целевого сигнала (мВт) будет определяться как:

$$S_{T_w}(f) = 10^{\frac{P_T + S(f - F_T)}{10}} \quad (4)$$

Аналогично маске сигнала, создающего помеху (мВт), можно вычислить:

$$S_{Iw}(f) = P_{noise} + 10 \frac{P_T - \Delta P + S(f - F_T + \Delta F)}{10} \quad (5)$$

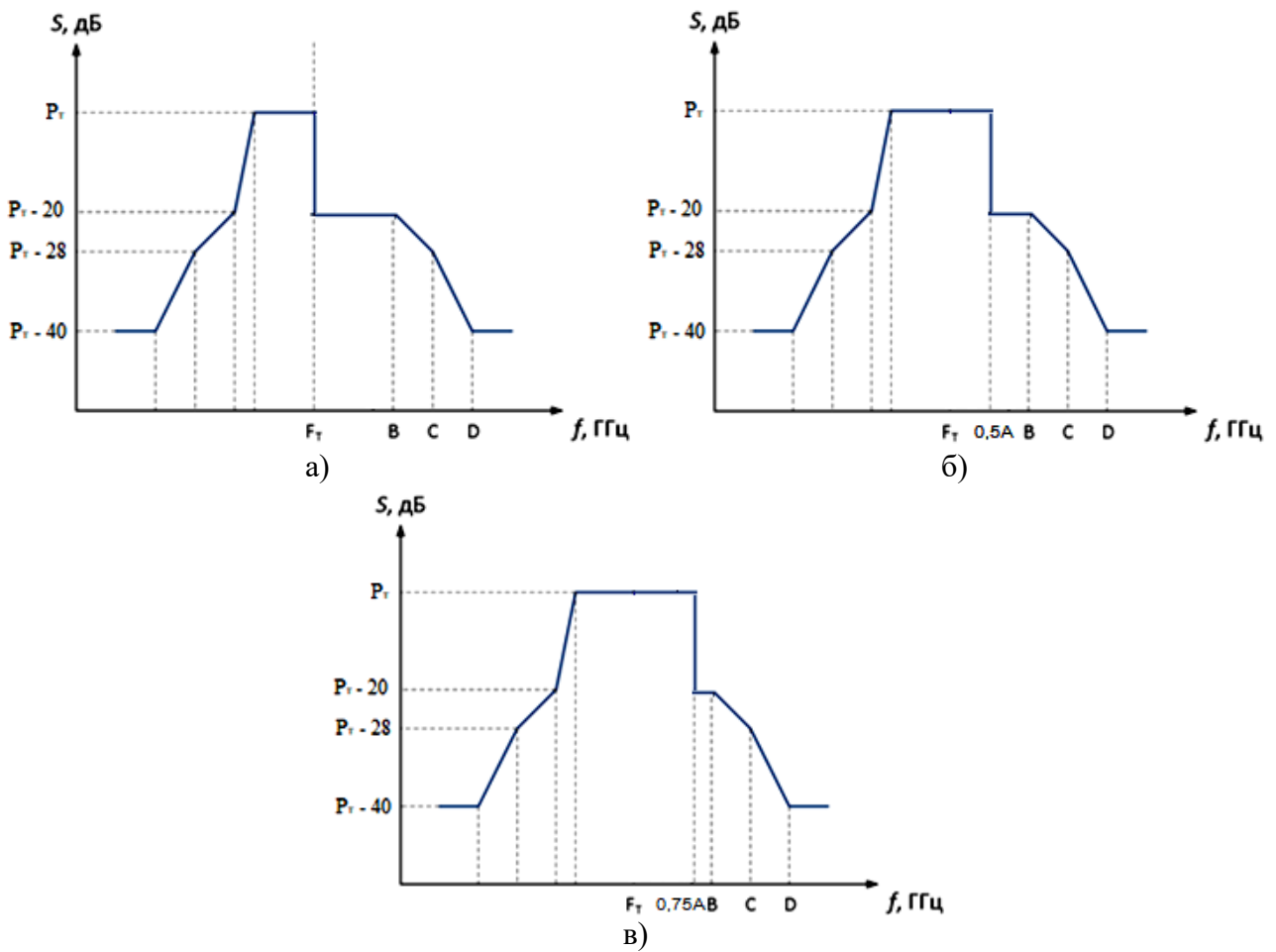


Рис. 4. Спектральная маска для трех случаев: а) 106 + 26 RU; б) 106 + 26 + 52 RU; в) 106 + 26 + 52 + 26 RU

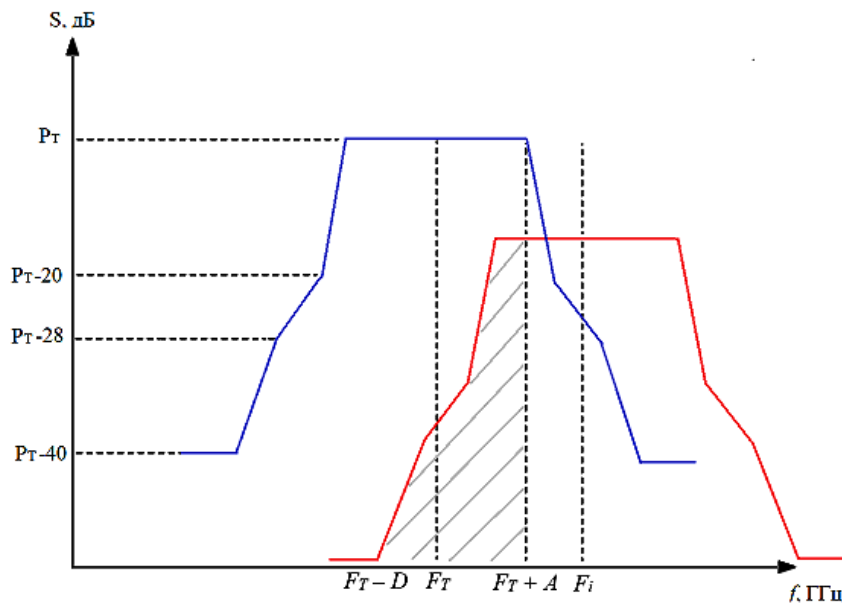


Рис. 5. Модель межканальных помех в спектре



Определим SNR для целевого канала как отношение площадей спектральных масок и выразим его в децибелах:

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\int_{F_T - A}^{F_T + A} S_{T_w}(f) df}{\int_{F_T - A}^{F_T + A} S_{I_w}(f) df} . \quad (6)$$

Выражение (6) будем далее использовать при расчетах величины *DataRate* в зависимости от параметров модели  $\Delta P$  и  $\Delta F$ .

### Возможный метод минимизации межканальных помех

На рисунке 6 показаны примеры модельных спектров для помехи, создаваемой целевому каналу, при следующих режимах:

- а) 106 + 26 RU ( $\Delta P = 5$ ,  $\Delta F = 10$ );
- б) 106 + 26 + 52 RU ( $\Delta P = 10$ ,  $\Delta F = 15$ );
- в) 106 + 26 + 52 + 26 RU ( $\Delta P = 10$ ,  $\Delta F = 15$ ).

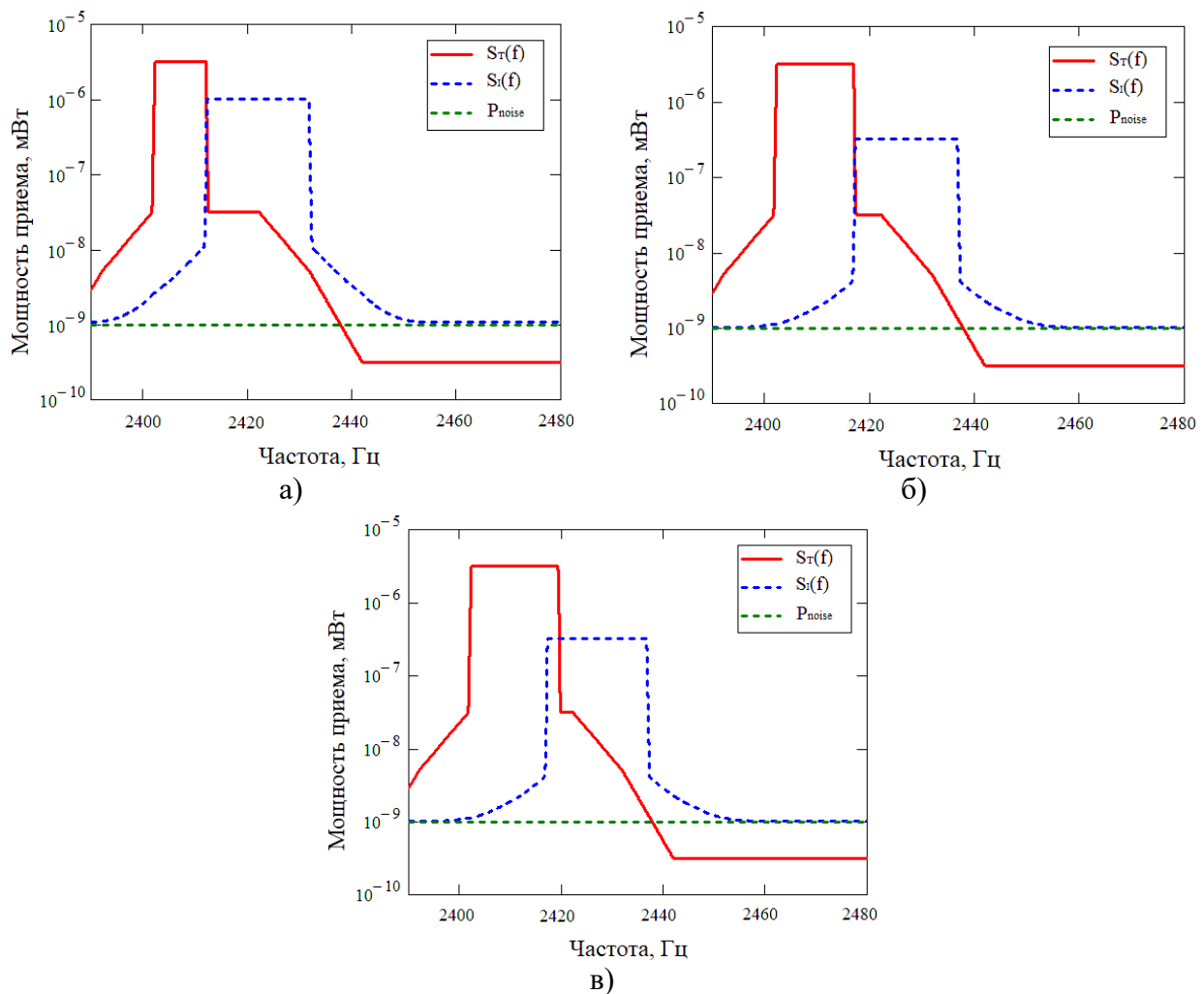


Рис. 6. Пример межканальной помехи в спектре для режимов: а) 106 + 26 RU; б) 106 + 26 + 52 RU; в) 106 + 26 + 52 + 26 RU

С учетом вышесказанного теперь определим разницу скоростей  $\Delta DataRate$  для трех рассмотренных случаев в зависимости от параметров. И далее найдем диапазон значений параметров, в котором такое решение будет оправданным, что возможно при условии  $\Delta DataRate > 0$ :

для  $106 + 26$  RU и  $242$  RU:

$$\Delta DataRate_{106+26} = \frac{N_{DBPS106+26}(SNR(\Delta P, \Delta F)) - N_{DBPS242}(SNR(\Delta P, \Delta F))}{T_{SYM}}, \quad (7)$$

где  $T_{SYM} = 16$  мкс для IEEE 802.11ax [6],

для  $106 + 26 + 52$  RU и  $242$  RU:

$$\Delta DataRate_{106+26+52} = \frac{N_{DBPS106+26+52}(SNR(\Delta P, \Delta F)) - N_{DBPS242}(SNR(\Delta P, \Delta F))}{T_{SYM}}, \quad (8)$$

для  $106 + 26 + 52 + 26$  RU и  $242$  RU:

$$\Delta DataRate_{106+26+52+26} = \frac{N_{DBPS106+26+52+26}(SNR(\Delta P, \Delta F)) - N_{DBPS242}(SNR(\Delta P, \Delta F))}{T_{SYM}}. \quad (9)$$

Зависимость (7) для сравнения случаев  $106 + 26$  RU и  $242$  RU показана на рисунке 7а. С учетом дискретности значений  $\Delta F$  для ISM-диапазона, а именно при  $\Delta F = 15$ ,  $\Delta DataRate$  имеет положительные значения на участке  $-20 < \Delta P < 20$ . Выигрыш в совокупной скорости передачи данных при этом может достигать 30 Мбит/с. Видно, что остальные зависимости не имеют заметного положительного участка.

На рисунке 7б показана зависимость (8) для  $106 + 26 + 52$  RU. С учетом дискретности значений  $\Delta F$  для ISM-диапазона, значение  $\Delta DataRate$  будет положительно при  $\Delta F = 15$  и  $-19,2 < \Delta P < 1,9$ . Выигрыш в скорости при этом заметно ниже и находится в пределах 10 Мбит/с. Остальные графики лежат в целом в области отрицательных значений.

Что касается случая использования  $106 + 26 + 52 + 26$  RU при сравнении с  $242$  RU, то обсуждаемая задача решений не имеет, поскольку использование половины спектрального ресурса канала в рамках предлагаемого подхода не оправданно. Соответствующие графики зависимости для формулы (9) приведены на рисунке 7в. Из графика видно, что значения  $\Delta DataRate$  для такого целевого канала строго отрицательны, что говорит об отсутствии в данном случае преимуществ предлагаемого подхода при любых параметрах модели.

Из результатов расчетов можно заключить, что существует диапазон значений параметров модели, в котором возможно повышение совокупной скорости многопользовательской передачи путем отказа от полного использования всех RU в спектральной маске целевого канала. В случае отрицательных значений  $\Delta F$ , т. е. при расположении помехи «слева» в спектре,

решения будут аналогичны и будут представлять собой симметричное отображение рисунков 4а–4в с идентичным набором RU.

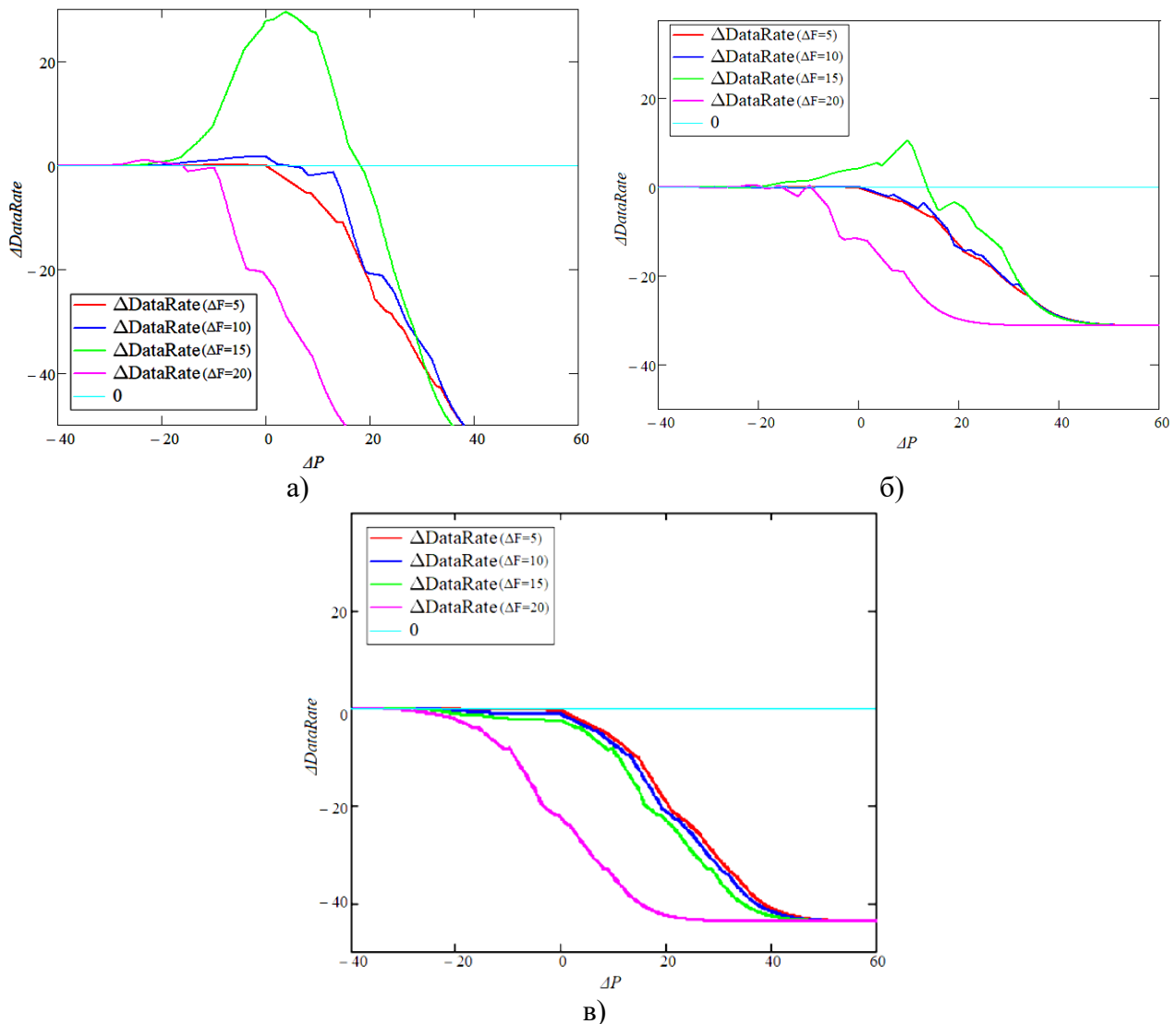


Рис. 7. Зависимость  $\Delta DataRate$  от параметров для 106 + 26 RU (а), 106 + 26 + 52 RU (б) и 106 + 26 + 52 + 26 RU (в)

Тогда, исходя из модели (6) в рамках рассмотренных сценариев, допускается предложить метод, суть которого можно примерно сформулировать пошагово.

Шаг 1. Определение характеристик целевого канала и канала-помехи.

Шаг 2. Определение положения канала-помехи в спектре, т. е. установление параметров модели:  $\Delta P$  и  $\Delta F$ .

Шаг 3. Принятие решения о частичном использовании RU целевого канала в случае возможности повышения совокупной скорости передачи данных (значение  $\Delta DataRate$  положительно и достаточно велико).

Шаг 4. Выбор режима использования RU в целевом канале.

## Выводы

Во-первых, исследована возможность минимизации межканальных помех путем частичного использования RU в канале типа HE20 для частотного диапазона 2,4 ГГц.

Во-вторых, предложен метод, позволяющий оценить возможный диапазон параметров модели, при которых обеспечивается выигрыш в скорости канала HE20, и в случае его применимости – обеспечить выигрыш до 30 Мбит/с.

В-третьих, наибольший выигрыш может быть получен при расположении канала-помехи с шагом центральной частоты равны 15 МГц. При сценарии работы 106 + 26 RU возможность выигрыша в скорости обеспечивается в диапазоне значений параметров:  $\Delta F = 15$  МГц и  $-20 < \Delta P < 20$  дБ. При сценарии работы 106 + 26 + 52 RU преимущество обеспечивается в диапазоне значений параметров:  $\Delta F = 15$  МГц и  $-19,2 < \Delta P < 13,9$  дБ.

В-четвертых, использование режима 106 + 26 + 52 + 26 RU не дает преимуществ на всем диапазоне параметров модели.

Предложенный подход может быть применен и в других сценариях, например при работе с каналами HE40 в частотном диапазоне 5 ГГц.

## Литература

1. Вишнеvский В. М., Ляхов А. И., Портной С. Л., Шахнович И. Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005.
2. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 802.11-2020. 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. IEEE, 2021. 4379 p. DOI:10.1109/IEEESTD.2021.9363693.
3. Васильев К. К., Глушков В. А., Дормидонтов А. В., Нестеренко А. Г. Теория электрической связи: учебное пособие. Ульяновск: Изд-во УЛГТУ, 2008.
4. Викулов А. С., Парамонов А. И. Анализ основных видов помех в задаче планирования сетей Wi-Fi с высокой плотностью пользователей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 1. С. 21–31.
5. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 802.11d-2001. 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. Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN. IEEE, 2001. 26 p.
6. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 802.11ax-2021. 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 Amendment 1: Enhancements for High-Efficiency WLAN. IEEE, 2021. 767 p. DOI:10.1109/IEEESTD.2021.9442429.

7. Калашников К. С. Алгоритм компенсации межканальных помех при приеме OFDM-сигналов в условиях каналов с замираниями // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2012. № 1 (86). С. 25–37.

8. Мешкова А. Г. Методы компенсации межканальных и внутриканальных интерференционных помех в системах связи с ортогональным частотным мультиплексированием. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2018. 175 с.

9. 802.11ax OFDMA Resource Units // Clear To Send. URL: <https://www.clearToSend.net/802-11ax-ofdma-resource-units> (дата обращения 18.06.2023)

10. Викулов А. С., Парамонов А. И. Оценка эффектов межканальных помех в сетях IEEE 802.11 для различных антенных конфигураций в задаче радиопокрытия промышленных объектов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 3 (39). С. 15–36.

**Статья поступила 14 ноября 2023 г.  
Одобрена после рецензирования 27 декабря 2023 г.  
Принята к публикации 28 декабря 2023 г.**

### **Информация об авторах**

*Викулов Антон Сергеевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

E-mail: [vikulov.as@sut.ru](mailto:vikulov.as@sut.ru)

*Тесаловская Дарья Евгеньевна* – студент бакалавриата 4 курса (направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи) Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

E-mail: [tesalovskaya02@mail.ru](mailto:tesalovskaya02@mail.ru)

## Analysis of Possible Interference Effects Minimization in IEEE 802.11ax Network by Partial Allocation of Resource Units

Vikulov A. ✉, Tesalovskaya D.

The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Statement of the problem:** one of the main tasks in IEEE 802.11 networks planning is adjacent channel interference mitigation. **The purpose of the work** is to synthesize a model and analyze the possibility of adjacent channel effects minimization by partial allocation of OFDMA resource units allocation. **Methods used:** mathematical analysis methods and spectrum modeling. **Novelty:** in contrast to the existing approaches, quantitative estimations of data rate gain has been calculated and a corresponding step-by-step method has been proposed. **Result:** in this paper an analysis of partial allocation of resource units within IEEE 802.11ax channel has been carried out. A model of the adjacent channel interference has been proposed, where signal to noise ratio is estimated via spectrum calculation of target and interferer signals. The model parameters range is estimated which corresponds to the gain of total multi user data rate gain in comparison to full target channel resource units utilization. **Theoretical and practical relevance:** method may be used to additional increase of total data rate in multi user channel operation mode in case of IEEE 802.11 networks interference presence.

**Keywords:** wireless access network, IEEE 802.11ax, adjacent-channel interference, signal to noise ratio, modulation and coding scheme, resource units.

### Information about Authors

Anton Vikulov – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Communication Networks and Data Transmission (The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail: vikulov.as@sut.ru

Darya Tesalovskaya – a 4th year bachelor's student (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications).

E-mail:tesalovskaya02@mail.ru