

РЕЖИМ ХЭНДОВЕРА ДЛЯ СЕТИ СВЯЗИ МАКВИЛ В г. МОСКВЕ

В.О. Шорин, Московский технический университет связи и информатики, shvo@nxtt.org.

УДК 621.391

Аннотация. Рассмотрены вопросы эффективности качества работы системы профессиональной связи МАКВИЛ в режиме хэндовера. Расчетно-экспериментальная проверка проводилась для зоны обслуживания базовых станций, расположенных в г. Москва, в районе метро Авиамоторная. Особое внимание уделено вопросам непрерывности связи и поддержки режимов со сложной модуляцией при перемещениях между зонами обслуживания сот. Произведена оценка потенциальных возможностей увеличения размеров сот, обеспечивающих качественную работу в режиме хэндовера. Выявлены предельные возможности сети МАКВИЛ по указанному показателю. Для условий городской застройки установлена связь между показателями чувствительности приема и допустимыми размерами сот.

Ключевые слова: помехоустойчивость; сети подвижной радиосвязи; технология МАКВИЛ; хэндовер; *Inter Site Distance*.

HANDOVER MODE FOR THE MCWILL COMMUNICATION NETWORK IN MOSCOW

Vasilij Shorin, Moscow technical university of communications and informatics.

Annotation. The issues of the effectiveness of the quality of the professional communication system *McWiLL* in the handover mode are considered. The calculation and experimental verification was carried out for the service area of the base stations located in Moscow, in the Aviamotornaya metro area. Special attention is paid to the issues of communication continuity and support of modes with complex modulation when moving between cell service zones. An assessment of the potential possibilities of increasing the size of the cells, providing high-quality work in the handover mode, was made. The maximum capabilities of the *McWiLL* network for this indicator are revealed. For the conditions of urban development, a relationship has been established between the reception sensitivity indicators and the permissible cell sizes.

Keywords: noise immunity; mobile radio networks; *McWiLL* technology; handover; *Inter Site Distance*.

Введение

В процессе локализации производства и развертывания профессиональной сети широкополосного доступа МАКВИЛ на территории РФ был проведен ряд работ по усовершенствованию исходных алгоритмов цифровой обработки сигналов с целью адаптации под текущие условия работы и повышения эффективности использования ресурсов радиочастотного спектра. Они включали:

1) исследования по развитию возможностей пространственного разделения сигналов в антенных решетках базовых станций (БС) МАКВИЛ (*McWiLL*) на основе результатов работ [1, 2];

2) разработку алгоритмов *MIMO* с управлением числом логических каналов на базе результатов работ [3-6];

3) методы снижения показателя пик-фактора сигнала в радиоканале на базе результатов, полученных в [7-10];

4) алгоритмы усовершенствованной техники компенсации искажений характеристик АЧХ-ФЧХ радиоканала в условиях города и с учетом движения абонентов [11-14].

Работы первых трех из указанных направлений показали необходимость существенных модернизаций, которые уже не могут обеспечить совместимость работы с аппаратурой предыдущего поколения. Последнее, четвертое направление, напротив, показало возможность введения достаточно простых усовершенствований, совместимых с исходными алгоритмами цифровой обработки МАКВИЛ, которые позволяют на 3-4 дБ поднять показатели чувствительности в городских условиях. Особенно интересными при этом оказались результаты, касающиеся работы алгоритмов хэндовера.

Хэндовер в системе МАКВИЛ

В стандарте МАКВИЛ существует три типа процедур хэндовера, имеющих прямую связь с показателями работы радиоканала.

1) Хэндовер (обычного типа) по признаку уменьшения уровня сигнала обслуживающей соты ниже уровней сигналов соседних сот.

2) Хэндовер по признаку ухода уровня качества связи ниже допустимого порога.

3) Хэндовер по признаку конфликта распределения ресурса радиоканала, который в МАКВИЛ называется: « $N=1$ ».

Также еще поддерживается хэндовер по перегрузке (для выравнивания нагрузки сот), которой называется: *Load Balance Handover*.

Рассмотрим их подробнее.

1. Хэндовер обычного типа (по признаку уменьшения уровня сигнала)

Процедура указанного вида происходит в двух случаях:

а) при наблюдении регулярного ухода уровня сигнала от обслуживающей БС ниже уровня(ей) соседней(их) БС более чем на величину допустимого порога. Указанный порог предназначен для устранения эффекта пинг-понга в условиях замираний сигналов;

б) при наблюдении снижения уровня принимаемого сигнала от обслуживающей БС до критических значений, начиная с которых могут происходить обрывы соединения.

В МАКВИЛ по умолчанию используются значения порогов переключения 6 дБ при организации процедуры хэндовера в штатных условиях, когда уровень сигнала обслуживающей БС выше порога (-100 дБм), и 3 дБ, в критических условиях, когда уровень сигнала обслуживающей БС ниже (-100 дБм).

Показатели эффективности такого хэндовера напрямую связаны с чувствительностью, обеспечиваемой приемниками.

Если усовершенствование алгоритмов приема обеспечит снижение критических порогов, то это позволит увеличить предельные размеры сот и решить задачу покрытия меньшим числом БС. Последнее важно при развертывании системы.

Простая оценка увеличения площади обслуживания и соответствующего сокращения числа БС, реализующих сплошное покрытие, может быть получена путем использования формулы *COST-Hata* для затухания радиосигнала на трассах. Из нее следует, что в условиях городской застройки потери зависят от расстояния по степенному закону с показателем 3,5-3,2, если высота подвеса антенн БС от 30 до 60 м.

Поэтому повышение чувствительности на ХдБ увеличивает предельные дистанции обслуживания как минимум в $10^{0,1 \times X/3,5}$ раз, а площадь покрытия сотой

в $10^{0,2 \cdot X/3,5}$ раз. Во столько же раз (как площадь) возможно уменьшить число БС, реализующих покрытие.

Например, улучшение чувствительности на $X=3$ дБ приведет к увеличению площади покрытия соты в 1,48 раз.

2. Хэндовер по признаку снижения уровня качества связи

Показатели работы хэндовера такого вида напрямую связаны с пороговыми значениями сигнал/шум, на которых необходимо переключать тип модуляции (*QAM64*, *QAM16*, *QPSK8* и *QPSK*). Чем ниже такие пороги переключения, тем больше площади покрытия, на которых обеспечивается работа сложной модуляции. Соответственно, тем больший объем трафика поддерживается сотами в выделенном спектральном ресурсе. Например, если усовершенствование алгоритмов обеспечивает снижение порогов на X дБ, то площади покрытий возрастут в те же самые $10^{0,2 \cdot X/3,5}$ раз.

В процессе локализации производства и развертывания сети профессиональной связи МАКВИЛ на территории РФ были проведены работы по усовершенствованию алгоритмов цифровой обработки приема, в результате чего удалось снизить уровень пост компенсационных искажений для АЧХ-ФЧХ радиоканала. Это, в свою очередь, снизило уровень внутрисистемных помех, и, как следствие, пороги переключения.

3. Хэндовер по признаку конфликта распределения ресурса радиоканала

Показатели работы хэндовера такого вида напрямую связаны с оценками местоположений абонентов, по которым можно косвенно судить о присутствии или отсутствии существенных помеховых воздействий в режиме использования общего спектрально-временного ресурса радиоканала. Близко расположенные к БС абоненты используют сигналы малой мощности. Поэтому такие абоненты, обслуживаемые соседними БС, не будут мешать друг другу.

Оценка расстояния до БС (обслуживающей и соседней) может осуществляться на базе измерений собственных координат абонента с помощью встроенного *GPS* приемника или, в случае отсутствия такового, с помощью оценки задержки распространения сигналов системы. В последнем случае качество работы хэндовера рассматриваемого типа будет прямо связано с качеством оценки задержки и показателем плотности размещения БС на территории. Если погрешности оценок задержек будут приводить к неточностям расчета дистанций в пределах до 4% от средней удаленности БС (параметр *Inter Site Distance (ISD)*), то по ним вполне можно определять абонентов соседних БС, свободных от взаимных помех, и выделять им общий ресурс, не беспокоясь о конфликтах.

Фрагмент сети МАКВИЛ для экспериментального исследования

Анализ усовершенствованных алгоритмов цифровой обработки был протестирован в режимах процедур хэндовера типов 1-3. Он был проведен на фрагменте сети МАКВИЛ в г. Москве, в районе станции метро Авиамоторная. Указанный фрагмент, включающий в себя пять БС с указанием расстояний (*ISD*) и высот подвесов антенн показан на рис. 1.

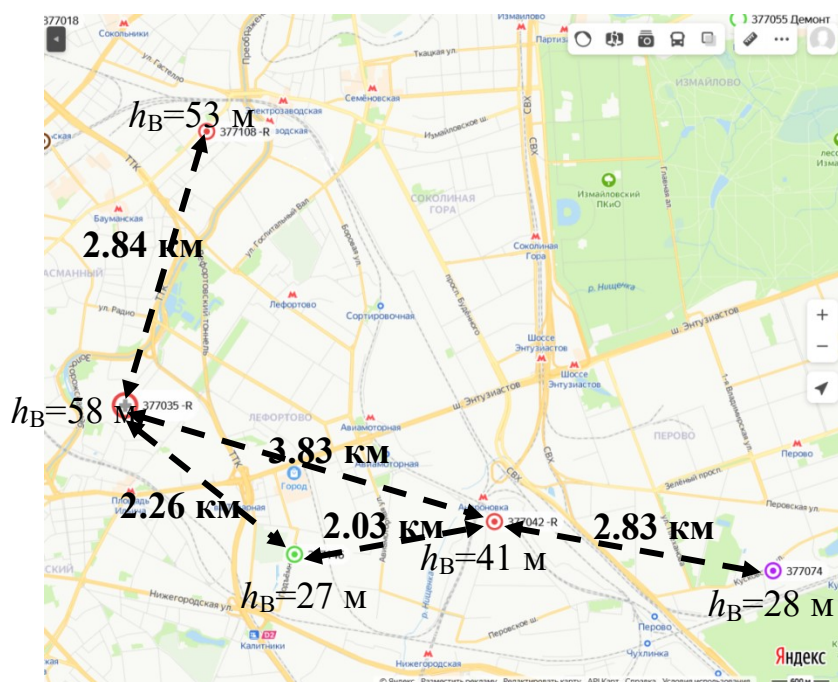


Рисунок 1

Применение разработанных алгоритмов для процедур хэндовера

Технические показатели зоны хэндовера были первоначально рассчитаны по модели *COST Hata* с использованием дефолтных установок системы МАКВИЛ. На следующем этапе был выполнен контроль расчета экспериментально для мобильных абонентов с рацией внутри салона автомобиля, работающей на частотах диапазона 340 МГц. На рис. 2. показана зона связи с уровнем сигнала от -100 дБм до -105 дБм для БС 377035 и границы хэндовера 1 по контрастности и по критическому снижению уровня (дефолтные установки).

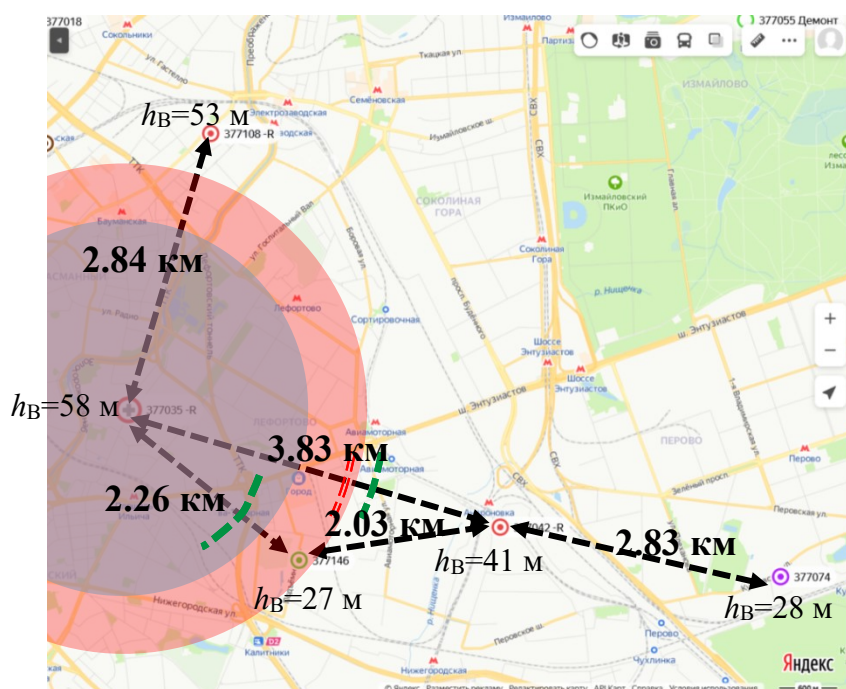


Рисунок 2

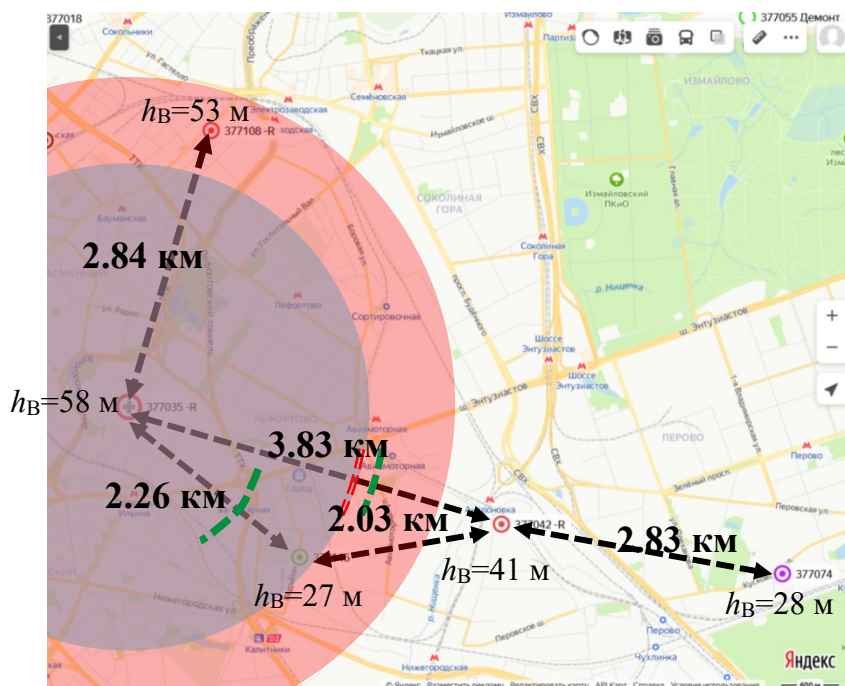


Рисунок 3

На рис. 3 показано, как изменятся зоны хэндовера при переходе от штатного алгоритма цифровой обработки к усовершенствованному варианту.

Сравнение рис. 2 и рис. 3 показывает следующее. Хэндовер 1 по контрастности уровня сигнала происходит между БС 377035 (*Source*) и 377146 (*Target*). Область такого хэндовера на рис. 2, 3 показана дугой штриховой линии зеленого цвета. Серо-синий круг показывает расчетную область для уровня принимаемого внутри автомобиля сигнала более -100 дБм, розовый – от -100 дБм до -105 дБм. Эта область хэндовера типа 1, но выполняемого по признаку критического снижения уровня. Можно видеть, что при штатном алгоритме обработки (рис. 2) дистанция от точки начала активизации обычного хэндовера до точки перехода на вариант по критическому снижению уровня составляет 200-220 м. В случае перехода на оптимизированный алгоритм (рис. 3) такая дистанция возрастает до 1200-1250 м, что обеспечивает более высокую стабильность хэндовера. При высоких скоростях абонента отрезок 200 м, отвечающий штатному алгоритму, может быть пройден менее чем за 10 с, что в условиях замираний, как указано в [13, 14], приводит к появлению ощутимой вероятности (~0,1) разрыва соединений с модуляциями QAM16 и выше.

Еще хуже ситуация для штатного алгоритма при хэндовере 1 между БС 377035 (*Source*) и 377042 (*Target*). В этом случае, как видно из рис. 2, режим перехода по контрастности уровней сигнала выходит за пределы зоны обслуживания. Возможным остается только хэндовер по критическому снижению уровня. Его область активизации показана дугой с двойной штриховой красной линией. Расстояние от точки активизации такого хэндовера до точки обрыва соединения из-за снижения под уровень чувствительности (-105 дБм) оказывается менее 100 м. Появляется вероятность потери соединения и перехода на режим *reselect*. В случае перехода на оптимизированный алгоритм, как показывает рис. 3, переключение по критическому снижению уровня доступно в области пространства с размером порядка 350 м. Правда зона обычного хэндовера по контрасту все равно оказывается за границей критического снижения. Но время на выполнение критического хэндовера, даже при высоких скоростях абонентов, оказывается значительно больше 10 с, что обеспечивает гарантированную работу.

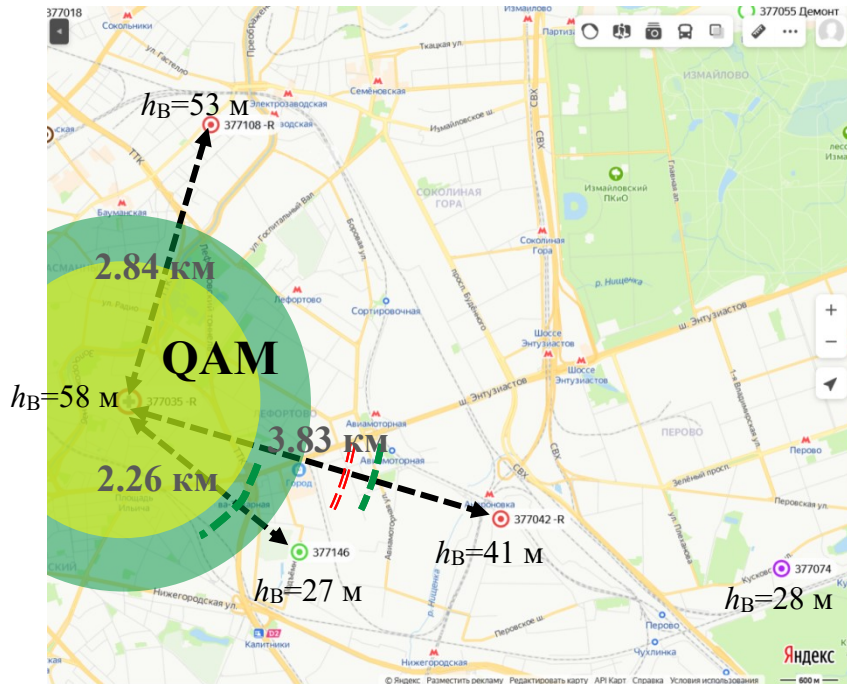


Рисунок 4

На рис. 4. показаны зоны, доступные для работы с модуляцией $QAM16$ в радиоканалах, соединяющих БС 377035 с абонентами (расчетное по модели $COST Hata$ расширение зоны сервиса с модуляцией $QAM16$ при замене штатного алгоритма цифровой обработки на оптимизированный).

Салатовым цветом помечена рассчитанная по модели $COST Hata$ зона для штатного алгоритма $Xinwei$, зеленым – для оптимизированного варианта. Как можно видеть, Хэндовер 1 между БС 377035 и БС 377146 (зеленая штриховая линия) при использовании оптимизированного алгоритма обработки произойдет без перехода на $QPSK$, то есть без хэндовера по качеству типа 2. Для штатного алгоритма избежать перехода на модуляцию более низкого уровня ($PSK8$ или $QPSK$) не удастся.

Использование модифицированного алгоритма оценки задержки в условиях высоких уровней сигнала, показало точность порядка 500 нс, что в пересчете на оценку расстояния дает 75 м. Поэтому даже для АС без модуля GPS попадание в близкую зону фиксировалось с высокой достоверностью. На рис. 5 в нижней части показан пример зоны погрешности размером 75 м, внутри которой нельзя достоверно вынести решение о попадании абонента в область автономной работы с БС. Тем не менее, даже в такой области допускается использование автономного режима распределения ресурса со стороны БС. Если в некоторых ситуациях это будет приводить к конфликту с соседними БС, то указанный конфликт будет разрешаться процедурой хэндовера 3 (« $N=1$ »).

Нужно отметить, что для разрешения конфликтов процедурой хэндовера типа 3 также могут использоваться данные о ресурсе, задействованном БС в зонах автономной работы. В качестве приоритетных вариантов перераспределения ресурсов радиоканала при таком подходе должны рассматриваться взаимные замены ($swap$) ресурса между АС, попавшей в конфликт, и одной из АС, работающих в зоне автономной работы данной БС. В случае успеха конфликт будет разрешен процедурой хэндовера типа 3 без дополнительного задействования ресурсов. На рис. 5. Расчетные зоны автономной работы АС с БС при распределении ресурса радиоканала. Точность оценки расстояния ~ 75 м.

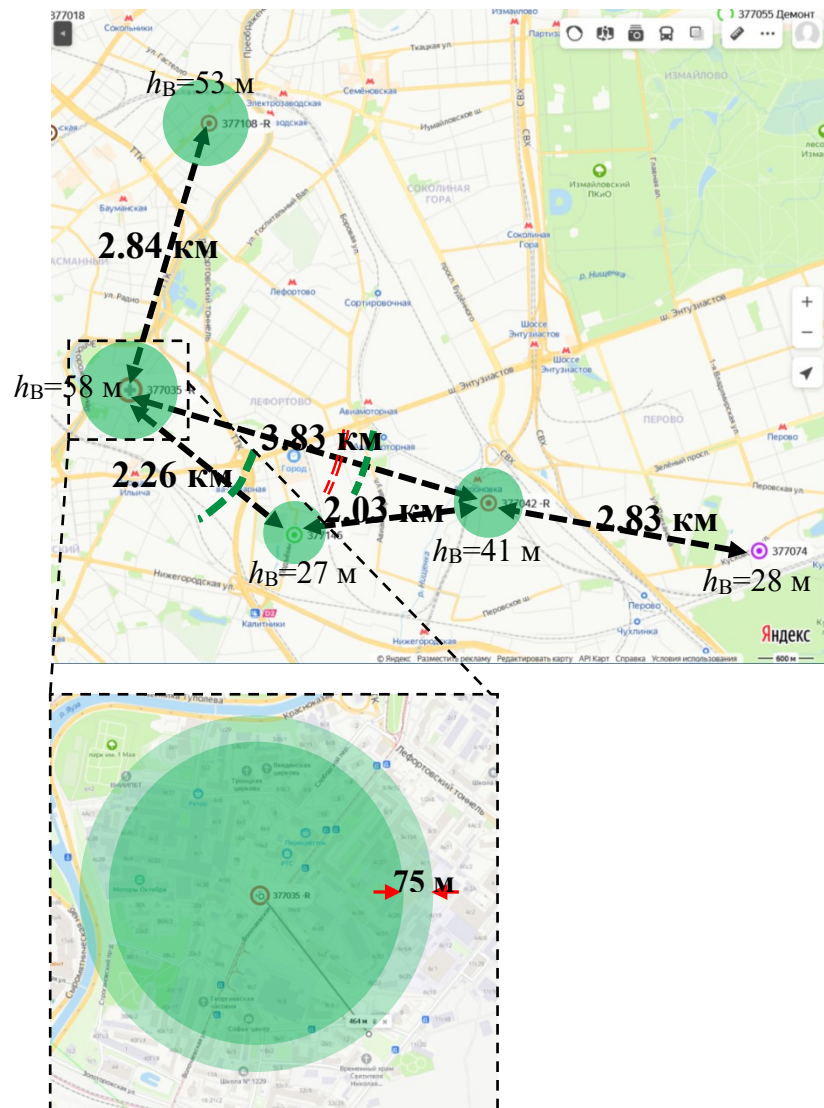


Рисунок 5

Заключение

Проведенный анализ, подтвердившийся экспериментом применения разработанных улучшенных алгоритмов цифровой обработки в режимах хэндовера на примере фрагмента сети *McWiLL* в г. Москве, в районе м. Авиамоторная, показал:

1) для хэндовера типа 1 (по контрастности уровней сигналов соседних БС) улучшенные алгоритмы позволяют сохранять модуляцию *QAM16* в радиоканале (переходы на более простые законы *QPSK* или *PSK8* не требуются);

2) точности замеров задержек, обеспечиваемые улучшенными алгоритмами, позволяют в городской застройке выносить достоверные решения о попадании абонента в зоны автономной работы с обслуживающей БС.

Литература

1. Аджемов С.С., Бокк Г.О., Зайцев А.Г. Исследование алгоритмов сверхразрешения в адаптивных антенных решетках // Радиотехника, 2000. – № 11. – С. 66-71.
2. Аджемов С.С., Бокк Г.О., Зайцев А.Г., Миненко П.В., Струев А.В. Модифицированный алгоритм пространственного разрешения источников

- радиоизлучения SDS-MUSIC, работающий при многолучевом распространении сигналов // Радиотехника, 2003. – № 11. – С. 80.
3. Бокк Г.О. ММО: Оптимизация управления числом логических каналов // Электросвязь, 2017. – № 1. – С. 40-44.
 4. Бокк Г.О. ММО: Оптимизация управления числом логических каналов // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) XXXVIII международной конференции РАЕН, 2016. – С. 6.
 5. Бокк Г.О. Оптимизация ММО с введением управления числом логических каналов // В книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом. Сборник материалов (тезисов) XXX международной конференции Российской Академии Естественных Наук «Экономика и качество систем связи» и ЗАО «НИРИТ», 2011. – С. 97-109.
 6. Бокк Г.О. Алгоритм ММО с применением управления числом логических каналов // Экономика и качество систем связи, 2017. – № 1 (3). – С. 60-69.
 7. Шорин О.А., Бокк Г.О. Снижение негативного влияния высоких значений пик-фактора сигналов в системе McWILL // Экономика и качество систем связи, 2019. – № 1 (11). – С. 9-13.
 8. Шорин О.А., Бокк Г.О. Аналитическое решение вариационной задачи Шеннона по определению оптимальной структуры сигнала в условиях ограничения пиковой мощности // Экономика и качество систем связи, 2018. – № 1 (7). – С. 30-39.
 9. Шорин О.А., Бокк Г.О. Численные результаты решения вариационной задачи Шеннона определения оптимальной структуры сигнала в условиях ограничения пиковой мощности // Экономика и качество систем связи, 2018. – № 1 (7). С. 39-47.
 10. Шорин О.А., Бокк Г.О. Оптимальная структура дискретной QAM-модуляции, обеспечивающая максимум информационной производительности радиоканала // Экономика и качество систем связи, 2018. – № 3 (9). – С. 9-17.
 11. Бокк Г.О., Аверьянов Р.С. Синхронизация в системах радиосвязи с временным дуплексом // Электросвязь, 2021. – № 6. – С. 32-39.
 12. Шорин О.А., Бокк Г.О. Помехоустойчивость системы МАКВИЛ // Электросвязь, 2021. – № 6. – С. 47-54.
 13. Шорин А.О. Оценка влияния скорости перемещения абонентов на удельную интенсивность потерь соединений в сетях с OFDM-сигналами // Электросвязь, 2017. – № 1. – С. 35-39.
 14. Шорин А.О. Исследование и разработка методов повышения эффективности обслуживания трафика в системах мобильной связи // Дис. кандидата технических наук: 05.12.13. – Москва, 2017. – 174 с.