

## ПРОБЛЕМАТИКА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ

*В. С. Тупаков, Т. А. Яковлев*

*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Исследована проблема ухудшения качества сигнала широкополосных систем мобильного радиодоступа 3G/4G в местах большого скопления абонентов и в так называемых «мёртвых зонах». Проведён анализ существующих принципов построения сетей мобильной связи, определены основные недостатки имеющихся подходов к развитию сотовых сетей. Продолжающаяся тенденция строительства макросот в городской среде потеряла свою эффективность в связи с увеличением используемых частот и должна быть заменена на принципиально новый способ планирования мобильных сетей. Предложен новый принцип предоставления доступа к мобильной связи «изнутри – наружу», учитывающий потребности большого количества абонентов в помещениях, основывающийся на установке максимального количества внутренних базовых станций, полностью обеспечивающих потребности внутренних пользователей сети. Подобное разграничение положительно скажется на всех абонентах и улучшит опыт от использования качественно предоставляемых сервисов оператором сотовой связи, что позволит увеличить экономические показатели.

**Ключевые слова:** базовая станция, мобильная связь, помеха, абонент, широкополосный доступ.

**Для цитирования:** Тупаков В. С., Яковлев Т. А. Проблематика построения систем широкополосного радиодоступа мобильной радиосвязи // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2019. № 2 (68). С. 24–30. DOI: 10.24143/1812-9498-2019-2-24-30.

### **Введение**

Вокруг нас стремительно развиваются беспроводные технологии, особенно в области производственных процессов, бизнеса и сферы продаж. Пользователи хотят получать широкополосный доступ повсеместно, в любом месте, что вызвано бурным развитием интернет-сервисов и постепенным переходом в сеть Интернет всё большего количества услуг и предоставляемых операторами возможностей.

На современном этапе развития технологий, не смотря на улучшение таких систем беспроводного широкополосного доступа, как Wi-Fi, необходимо помнить о том, что изначально голосовые услуги и передачу данных обеспечивает качественное радиопокрытие базовой станции (БС). Там, где нет покрытия сети Wi-Fi, телефон автоматически переключается на работу с сетью второго, третьего или четвёртого поколения (2G/3G/4G) [1].

Несмотря на постоянную работу операторов сотовой связи, число так называемых «мёртвых зон» и участков, где сотовая связь нестабильна, а уровень сигнала не соответствует минимально необходимому для качественного соединения, по-прежнему достаточно много. Связано это, в первую очередь, с постоянным строительством и изменением городского ландшафта. Обычно зоны низкого уровня сигнала наблюдаются на первых и последних этажах высотных зданий, подвалах, в крупных помещениях торговых центров и т. д. Радиосигнал от БС мобильного оператора не может проникнуть в помещение из-за отсутствия в нём окон, громоздких металлоконструкций или расположения объекта в низине или под землёй.

Задача обеспечения покрытия внутри зданий затрудняется тем, что зачастую крупные сооружения имеют сложную внутреннюю планировку, с элементами из прочных бетонных или металлических конструкций (фермы, несущие стены, перекрытия), что препятствует нормальному распространению сигнала от БС.

Повышенная плотность абонентов в крупных зданиях усложняет архитектуру будущей системы. Приходится учитывать уже существующие решения и множество других факторов. Несмотря на это, каждому абоненту необходимо обеспечить качественное обслуживание вне зависимости от того, внутри помещения он или нет.

### Роль внутренних базовых станций для оператора сотовой связи

Существует множество проблем (как с экономической, так и с технической точки зрения) при разработке и внедрении решений для внутреннего покрытия зданий. Очень трудно разработать систему, которая будет совмещать положительную экономическую составляющую совместно с высокими показателями производительности. В большинстве стран около 80 % пользователей постоянно находятся внутри помещений и обеспечение качественного внутреннего покрытия, особенно на высоких скоростях сетей 3G/4G, представляет непростую техническую задачу [2].

У оператора сотовой связи есть много причин для построения систем внутреннего покрытия. Технические причины вполне типичны: нехватка покрытия, улучшение качества обслуживания, обеспечение большей ёмкости, необходимость увеличения пропускной способности, снижение нагрузки на существующие внешние БС. В сетях третьего и четвёртого поколения разгрузка внешних макросот является особенно важным параметром. Однако не стоит забывать, что любая система оператора связи должна приносить прибыль или работать на снижение стоимости обеспечения минуты разговора или мегабайта трафика.

В большинстве городов можно наблюдать ситуацию, когда большая часть нагрузки создаётся пользователями внутри помещений. В некоторых городах больше половины трафика генерирует примерно 10 % зданий: торговые и развлекательные центры, аэропорты, офисные здания, стадионы и т. д. [3].

Почему бы просто не задействовать внешние БС для обеспечения покрытия внутри зданий? При планировании сотовой сети, на самых ранних этапах, оператор старается покрыть как можно большее число зданий макросотами. И в определённых ситуациях такая тактика действительно имеет смысл – операторам удаётся обеспечить покрытие радиосигналом внутри зданий, но это компромиссное решение.

В обычной пригородной местности операторам связи приходится работать с довольно плотной макросетью с расстоянием не более 1–2 км между сотами, в зависимости от предлагаемых услуг и типа застройки. В городских условиях это расстояние уменьшается до 300–500 м для обеспечения достаточного уровня сигнала. Как представлено на рис. 1, даже плотная сеть макросот недостаточна для обеспечения качественного покрытия для пользователей внутри здания.

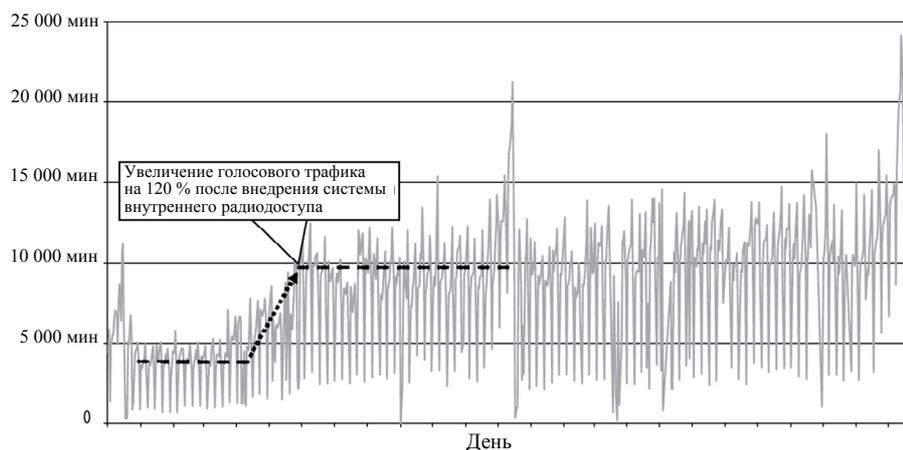


Рис. 1. Количество вызовов в торговом центре после установки системы внутреннего покрытия

Согласно рис. 1 количество голосового трафика после установки внутренней БС увеличилось на 120 %. Но увеличился трафик не только в помещении, но и внешних БС из-за привлечения в эту зону большего числа абонентов ввиду улучшения качества обслуживания, а также уменьшился процент необработанных вызовов. Абоненты, которые ранее испытывали проблемы

с уровнем сигнала от внешних макросот теперь могут использовать ресурс внутренней системы даже снаружи, что позволяет говорить о том, что такие системы крайне важны для операторов сотовой связи и позволяют создать качественное однородное покрытие даже в условиях сложной городской среды.

### Особенности строительства сетей широкополосного мобильного доступа 3G/4G

В сельской и городской среде сигнал макросот достигает абонентов, претерпевая отражения и дифракцию и формируя так называемое многолучевое распространение сигнала. Обычно уровень задержки составляет 1–2 мкс. На рис. 2 проиллюстрировано, что только небольшая часть трафика обеспечивается сигналом на линии прямой видимости с антенной БС и испытывает исключительно потери свободного пространства и потери на проникновение в здание.

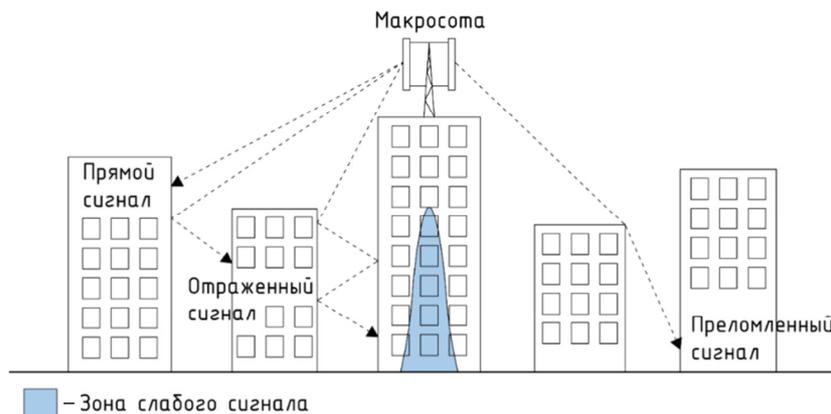


Рис. 2. Пути распространения сигнала от макросоты

В большинстве случаев результирующий сигнал на входе мобильного устройства представляет собой многолучевой радиоканал – «смесь» сигналов с разными задержками, амплитудами и фазами. Этот многолучевой затухающий сигнал также зависит от окружающей среды и скорости перемещения мобильного телефона. Как ни странно, в зданиях, на крыше которых расположена макросота, часто имеются проблемы с уровнем сигнала в самом здании, особенно на его нижних этажах [4].

Подобная проблема происходит в связи с тем, что в данном случае внутреннее покрытие обеспечивается отражением сигнала БС, установленной на крыше соседних зданий, и уровень сигнала может быть в норме на верхних этажах или около окон. Но стоит зайти на лестничную площадку или в лифт, и уровень сигнала значительно падает. Особенно страдает от этого высокоскоростная передача данных [5].

Если на крыше здания отсутствует БС или строения поблизости намного ниже, данная проблема будет проявляться намного сильнее, т. к. в таком случае в здание не будет попадать даже отражённый сигнал. На рис. 3 приведена зависимость амплитуды многолучевого сигнала от времени.

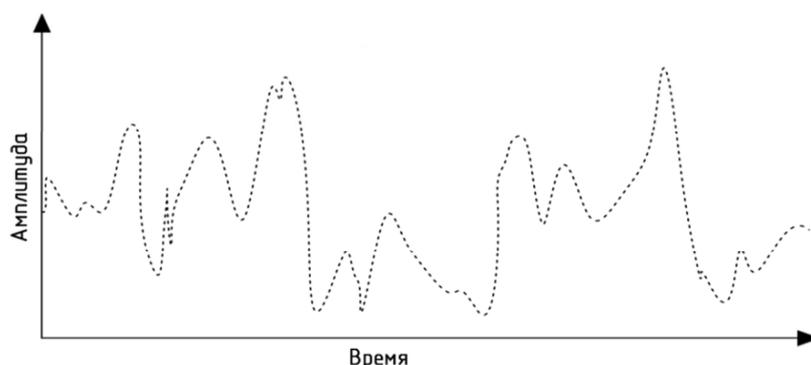


Рис. 3. Зависимость амплитуды многолучевого радиоканала от времени

Если замирание сигнала меньше 16 мкс, эквалайзер в мобильном устройстве 2G будет пытаться погасить его. Если замирание по величине больше, чем 16 мкс, то оно попадёт в устройство и будет влиять на качество связи как соканальная помеха. Приёмники с хорошей избирательностью (такowymi являются все 3G/4G устройства) при наличии замирания длительностью более чем один кадр радиоканала восстанавливают и выравнивают по фазе различные составляющие сигнала и в некоторой степени «воссоздают» сигнал с помощью максимального комбинирования коэффициентов.

Эффективность радиоканала в 3G/4G сетях очень чувствительна к параметрам радиочастотной среды, обусловленной многолучевыми отражениями. Данный параметр носит название ортогональности. Чем больше ортогональность радиоканала, тем выше эффективность данной радиолинии.

Один и тот же радиоканал шириной 5 МГц в некоторых случаях может обеспечивать достаточно высокие скорости передачи данных, превышающие 2 Мбит/с, при нахождении в зоне прямой видимости с антенной обслуживаемой соты и при условии, что большая часть сигнала не является отражённой. Это нормальная ситуация при наличии системы, обеспечивающей покрытие внутри здания. В этом случае ортогональность может достигать 0,85–0,90, из-за чего эффективность данного радиоканала возрастает практически до максимума.

Если покрытие внутри здания обусловлено исключительно сигналом внешних секторов наружной БС, радиоканал претерпевает множественные отражения, дифракции и фазовые сдвиги, формируя многолучевой канал. Ортогональность в таких случаях может достигать значений вплоть до 0,55, что значительно ухудшает эффективность радиоканала [6].

Модуляция в скоростном режиме HSPA (+) очень чувствительна к интерференции и ухудшению радиоканала. Качественный канал связи является обязательным условием для достижения высоких скоростей передачи данных в стандартах 3G/4G. Поэтому при отсутствии прямой видимости с внешней БС какое-либо внутреннее решение просто необходимо. Качественное отличие в уровне принимаемого сигнала в зависимости от расположения БС приведено на рис. 4.

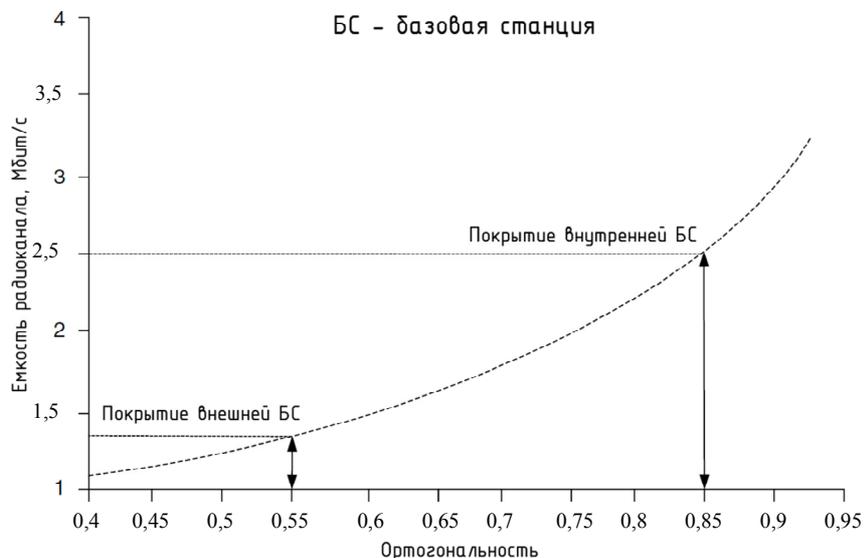


Рис. 4. Зависимость эффективности 3G радиоканала от ортогональности

Помимо ухудшения ортогональности, существует ещё несколько факторов, оказывающих прямое влияние на абонентов внутри здания, обслуживаемых внешними БС.

Уровень сигнала ухудшается по мере увеличения расстояния от БС – влияют затухание в свободном пространстве и потери от проникновения внутрь здания. Потери на проникновение зависят от используемого материала, толщины и вида перекрытия. В среднем, проходя через обычную наружную стену, сигнал испытывает потери от 15 до 50 дБ [7].

К потерям в свободном пространстве и потерям на проникновение в здание необходимо прибавить помехи распространения сигнала внутри помещения. Помехи вносят свою долю

в ухудшение эффективности радиоканала. Особенно актуально это для абонентов в глубине здания и тех пользователей, которые находятся вне зоны прямой видимости внешних секторов. На рис. 5 приведено ухудшение 3G радиосигнала и энергетические затраты при обслуживании абонентов внутри здания внешней БС.

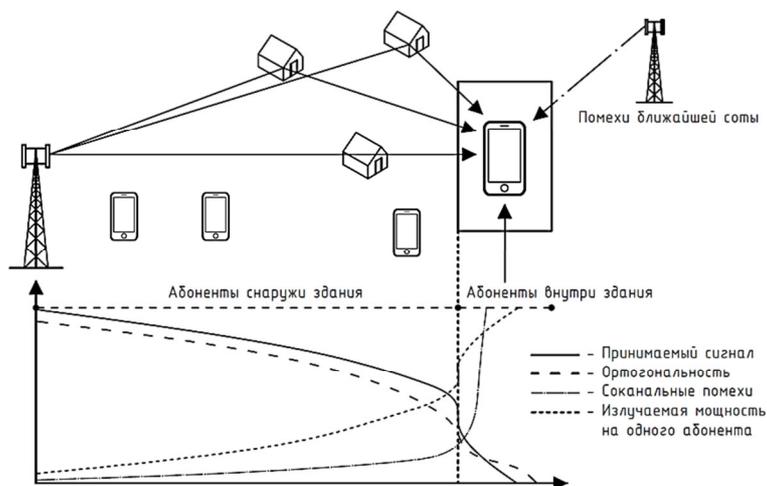


Рис. 5. Ухудшение 3G радиосигнала и энергетические затраты при обслуживании абонентов внутри здания внешней БС

Для поддержания соединения в таких зашумленных условиях БС мобильному телефону приходится увеличивать мощность передачи. Абонент может наблюдать более быстрый разряд аккумулятора своего мобильного устройства, а БС начинает нерационально использовать свои ресурсы [8].

В сетях 3G основное разделение радиоресурсов осуществляется не по частоте, а за счёт кодового разделения каналов. Поэтому в сетях третьего/четвёртого поколения используется так называемая плавная передача активного соединения – единственный способ мягкого переключения вызовов и сессий передачи данных при переходе из одной соты в другую. Плавная эстафетная передача сигнала – основная особенность 3G сетей, обеспечивающая переход трафика между и внутри сот. Но необходимо учитывать, что во время мягкого переноса соединения мобильная станция использует ресурсы всех сот, участвующих в передаче обслуживания. При этом стоит разделять передачу обслуживания в пределах одной соты и между двумя сотами. Последняя требует больше ресурсов из-за необходимости двойной обратной связи с контроллером (-ами) радиосети (RNC).

На рис. 6 приведён пример, когда абоненты находятся в зоне обслуживания сразу нескольких сот и производят переход между ними.

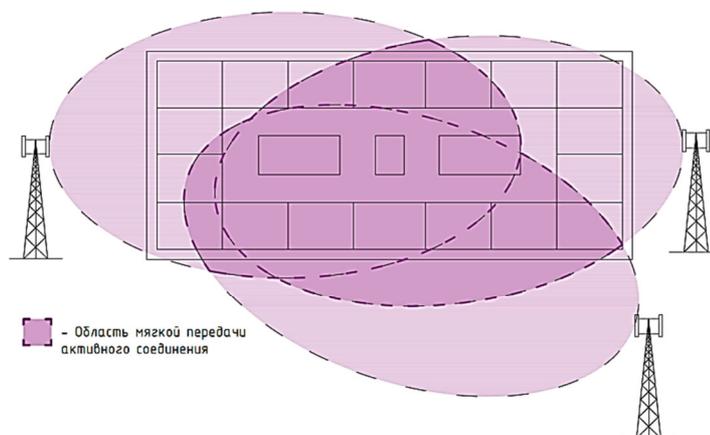


Рис. 6. Обеспечение внутреннего покрытия с помощью трёх внешних макросот

Требуется передача данных сразу нескольким БС, которые должны осуществлять переключение абонентов и их данных между собой, что дополнительно нагружает транспортную сеть оператора. Три внешних макросоты обеспечивают отличное внутреннее покрытие, но большая часть абонентов находится в режиме мягкой передачи сигнала.

Вероятность мягкой передачи обслуживания уменьшается при наличии определённого запаса по уровню сигнала между двумя секторами или сотами. Обычно требуется запас не менее 10–15 дБ, чтобы контроллер мог плавно обработать перенос сигнала [9].

Попытка обеспечить покрытие крупных объектов соседними макросотами очень привлекает, но, к сожалению, этот подход, который использовался и используется в сетях 2G, не даёт должного результата для сетей 3G/4G. Применение таких решений отрицательно подействует на производительность наружных БС, вся мощность которых будет направлена на обеспечение устойчивого соединения с труднодоступными абонентами внутри здания, которые несмотря на увеличенную мощность передачи всё равно будут испытывать проблемы, особенно при скоростной передаче трафика. Проблему можно решить в сетях второго поколения, используя другие частоты передатчиков, но сети 3G/4G используют одинаковые частоты на всех сотах. Лучшим решением в данном случае будет установка внутренней БС и перенаправление внешних секторов на обслуживание прилегающей к объекту территории для избегания взаимных помех и уменьшения площади эстафетной передачи сигнала.

### Заключение

Правильный способ обеспечить внутреннее и внешнее покрытие – планировать сеть «изнутри», а не наоборот. Особенно это важно для районов с высокой плотностью абонентов, т. е. для высотных офисных зданий и мест пребывания большого количества людей: стадионов, театров, аэропортов и т. д. Операторы, производящие развёртывание сетей 3G/4G, должны заранее закладывать средства на обеспечение покрытия внутри крупных зданий с высокой плотностью абонентов. Установка систем внутреннего покрытия позволит сэкономить средства в долгосрочной перспективе. Такая стратегия – самая эффективная с позиции обеспечения качественного обслуживания и сокращения издержек.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chilamkurti Naveen*. Emerging Innovations in Wireless Networks and Broadband Technologies. Information Science Reference, 2016. 292 p.
2. *Da Silva M. M.* Cable and Wireless Networks. Theory and Practice. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2016. 700 p.
3. *Hossain Ekram, Long Bao Le, Dustin Niyato*. Radio Resource Management in Multitier Cellular Wireless Networks. John Wiley & Sons, 2014. 352 p.
4. *Технические основы построения систем мобильной связи*. URL: <http://poznayka.org/s46420t1.html> (дата обращения: 03.10.2019).
5. *Pahl John*. Interference Analysis: Modelling Radio Systems for Spectrum Management. John Wiley & Sons, 2016. 558 p.
6. *Cox C.* An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications. John Wiley & Sons, 2014. 486 p.
7. *Tolstrup Morten*. Indoor Radio Planning: A Practical Guide for 2G, 3G and 4G. John Wiley & Sons, 2015. 616 p.
8. *Zhang Ruonan, Lin Cai, Jianping Pan*. Resource Management for Multimedia Services in High Data Rate Wireless Networks. Springer International Publishing AG, 2017 132 p.
9. *Kazi Mohammed Saidul Huq, Jonathan Rodriguez*. Backhauling. Fronthauling for Future Wireless Systems. John Wiley & Sons, 2016. 218 p.

Статья поступила в редакцию 22.10.2019

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Типаков Василий Сергеевич** – Россия, 194064, Санкт-Петербург; Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного; оператор научной роты; outn9h6rzn@gmail.com.

**Яковлев Тимур Александрович** – Россия, 194064, Санкт-Петербург; Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного; оператор научной роты; outn9h6rzn@gmail.com.



## PROBLEMS OF CONSTRUCTING BROADBAND RADIO ACCESS SYSTEMS OF MOBILE RADIO COMMUNICATION

*V. S. Tipakov, T. A. Yakovlev*

*Military Academy of Telecommunications named after Marshal  
of the Soviet Union S. M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The article is focused on the problem of degrading the signals of broadband 3G / 4G mobile radio access systems in places of subscribers clustering and in so-called “dead zones”. The analysis of the actual principles of building mobile networks has been carried out, the main disadvantages of the approaches to the development of cellular networks have been identified. The current trend of building macro cells in the urban environment has lost its effectiveness due to the increasing frequencies used; it has to be replaced by a fundamentally new way of planning mobile networks. A new principle of providing access to mobile communications “from inside to outside” is proposed, which takes into account the needs of a large number of subscribers in the premises. It is based on setting the maximum number of internal base stations fully meeting the needs of internal network users. Such a distinction will positively affect all subscribers and improve the experience from using the high-quality services of the mobile operators, which will result in increasing the economic performance.

**Key words:** base station, mobile communications, interference, subscriber, broadband access.

**For citation:** Tipakov V. S., Yakovlev T. A. Problems of constructing broadband radio access systems of mobile radio communication. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2019;2 (68):24-30. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2019-2-24-30.

### REFERENCES

1. Chilamkurti Naveen. *Emerging Innovations in Wireless Networks and Broadband Technologies*. Information Science Reference, 2016. 292 p.
2. Da Silva M. M. *Cable and Wireless Networks. Theory and Practice*. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2016. 700 p.
3. Hossain Ekram, Long Bao Le, Dustin Niyato. *Radio Resource Management in Multitier Cellular Wireless Networks*. John Wiley & Sons, 2014. 352 p.
4. *Tekhnicheskie osnovy postroeniya sistem mobil'noj svyazi* [Technical fundamentals of building mobile communication systems]. Available at: <http://poznayka.org/s46420t1.html> (accessed: 03.10.2019).
5. Pahl John. *Interference Analysis: Modelling Radio Systems for Spectrum Management*. John Wiley & Sons, 2016. 558 p.
6. Cox C. *An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications*. John Wiley & Sons, 2014. 486 p.
7. Tolstrup Morten. *Indoor Radio Planning: A Practical Guide for 2G, 3G and 4G*. John Wiley & Sons, 2015. 616 p.
8. Zhang Ruonan, Lin Cai, Jianping Pan. *Resource Management for Multimedia Services in High Data Rate Wireless Networks*. Springer International Publishing AG, 2017 132 p.
9. Kazi Mohammed Saidul Huq, Jonathan Rodriguez. *Backhauling. Fronthauling for Future Wireless Systems*. John Wiley & Sons, 2016. 218 p.

The article submitted to the editors 22.10.2019

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tipakov Vasily Sergeevich** – Russia, 194064, Saint-Petersburg; Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny; Research Company Operator; outn9h6rzn@gmail.com.

**Yakovlev Timur Aleksandrovich** – Russia, 194064, Saint-Petersburg; Military Academy of Telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny; Research Company Operator; outn9h6rzn@gmail.com.

