

точки зрения технической совместимости с цифрового наземного телевидения и с точки зрения совместимости с соглашением GE06;

7. Выявлено, что в долгосрочной перспективе подвижной широкополосной связи и цифрового наземного телевидения сольются в одну экосистему, которая доставляет все типы контента и самостоятельно выбирает, является ли оптимальный режим передачи широкоэмитерным, многоадресным или одноадресным.

#### Список литературы:

1. Европейская комиссия, COM/2012/478 [Электронный ресурс]. Содействие совместному использованию ресурсов радиочастотного спектра на внутреннем рынке, сентябрь 2012 г. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/72073988/>.
2. Президентский совет консультантов по науке и технологиям, реализация полного потенциала государственного спектра для стимулирования экономического роста, июль 2012 г. [Текст].
3. **Tehrani, S.** Лицензированные схемы совместного использования спектра для операторов мобильной связи: обзор и перспективы [Текст] / [S. Tehrani, D. Vahid, H. Triantafyllou и др.] // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2016. – vol. 18. – С. 2591–2623.
4. **Мустонен, М.** Модель процесса для последних концепций совместного использования спектра при разработке политики [Текст] / [М. Мустонен, М. Матинмикко, О. Холланд и др.] // Политика в области электросвязи. – 2017.
5. **Коц, Д.** Экспериментальная оценка предположений о моделировании беспроводной связи [Текст] / [Д. Коц, К. Ньюпорт, Р.С. Грей и др.] // в материалах 7-го симпозиума ACM по моделированию, анализу и моделированию беспроводных и мобильных устройств. – Венеция, 2004. – С. 78-82.
6. **Kelly, IY.** Сосуществование: теория и практика [Текст] / IY. Kelly, HW. Perlow // IEEE Wireless Communications. – 2017. – vol. 24. - С. 96–101.
7. **Фадда, М.** Проблемы помех для связи VANET в TVWS в городских условиях [Текст] / М. Фадда, М. Муррони, В. Попеску // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2016. – v ol. 65. – С. 4952–4958.
8. **Попеску, В.** Проблемы помех и защиты в совмещенном канале и соседнем канале для работы DVB-T2 и IEEE 802.22 WRAN [Текст] / [В. Попеску, М. Фадда, М. Муррони и др.] // IEEE Transactions on Broadcasting. – 2014. – С. 693–700.
9. МСЭ-R, Отчет МСЭ-R ВТ.2382-1: Описание помех цифровому наземному телевизионному приемнику. – 2016.
10. **Браун, П.** BBC Research & Информационный документ о разработке WHP 288 [Текст] / [П. Браун, Д. Дарлингтон, П. Кесби и др.] // Тестирование совместимости WSD в исследовательском центре здания: экспериментальная проверка нормативных предложений ofcom. – 2014.

DOI:10.54834/16945220\_2023\_2\_34

Поступила в редакцию: 29.05.2023 г.

УДК 654.19

**Мойдунов Т.Т.**

*к.т.н., доцент Ошского технолог. универ. им. М.М. Адышева, Кыргызская Республика*

**Саримсаков А.А.**

*к.т.н., доцент Ошского технолог. универ. им. М.М. Адышева, Кыргызская Республика*

### ЭКОНОМИКАНЫ КАМСЫЗ КЫЛУУ ҮЧҮН РАДИОЖЫШТЫК СПЕКТРЛЕРИН БАШКАРУУ

*Бул жумушта изилдөө предмети болуп байланыш тармактарын жана радио жыштыгын биргелешип пайдалануунун концепциясын бөлүштүрүү маселелери саналат. Изилдөөнүн максаты - экономиканы камсыз кылуу үчүн радиожыштык спектрлерин башкаруу системаларын анализдөө. Изилдөөлөрдө анализ, салыштыруу жана жалпылоо илимий методдору колдонулган. Спектрди бөлүштүрүү үчүн радиожыштык спектрин бөлүшүү модели боюнча изилдөөлөр жергиликтүү масштабда интернетин колдонуунун жардамында жүргүзүлгөн. Интернетти чоң масштабда жайылтуу модели иштелип чыгып, 5G стандартын жайылтууга салыштырмалуу спектралдык*

эффективдүүлүгү бааланган. Бул жумушта толугу менен тармак ресурстарына суроо-талап менен сунуштун динамикалык дал келишине негизделген спектрди бөлүштүрүүнүн жаңы жолу сунушталган. Ал бөлүшүү экономиканын парадигмасынын принциптерине негизделген. Спектрди бөлүштүрүү учурдагы абалынын жана новатордук усулдун деталдуу талдоосу берилген. Келечекте бөлүшүү экономикасынын принциптерине негизделген спектрди бөлүштүрүүнүн жаңы формасын негизделет, андан кийин буга жетишүүгө боло турган системалык архитектура сунушталат. Натыйжалардын негизинде бул ыкманын артыкчылыктарын интернеттин массалык түрдө жайылышына байланыштуу болгон мисал менен көрсөтүлгөн. Ошондой эле акыркы корутундулар жана андан аркы изилдөөлөр үчүн маанилүү аспектилер берилген.

**Негизги сөздөр:** радио жыштык спектрин башкаруу; радио жыштык спектрин бөлүшүү; буюмдардын массалык интернетин колдонуу.

## УПРАВЛЕНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИКИ

В данной работе предметом исследования является свойства распределения беспроводного спектра в сетях связи и концепции совместного использования полос радиочастот. Цель исследования – анализ систем управления радиочастотного спектра для обеспечения экономики. Данный подход поможет смягчить резкий скачок спроса на беспроводной спектр, характерный для мира. Проведены исследования на модели совместного использования радиочастотного спектра для распределения спектра в этой парадигме как вариант использования массового интернета вещей в локальном масштабе. Смоделированы большое развертывание интернета и оценены спектральные эффективности системы при управлении по сравнению со стандартным развертыванием 5G. В работе предложен новый способ совместного использования спектра, полностью основанный на динамическом согласовании предложения и спроса на ресурсы сети. Он основан на принципах парадигмы экономики совместного потребления. Представлен подробный анализ современного состояния совместного использования спектра и новаторских вкладов. Обоснованы новые формы совместного использования спектра, основанное на принципах экономики совместного использования, далее предложена архитектура системы, с помощью которой это может быть достигнуто. На полученные результаты проиллюстрированы преимущества этого подхода на примере использования, связанном с массовым развертыванием интернета. Также приведены окончательные выводы и важные аспекты для дальнейшего изучения.

**Ключевые слова:** управление радиочастотного спектра; совместное использование радиочастотного спектра; использования массового интернета вещей.

## RADIO FREQUENCY SPECTRUM MANAGEMENT TO ENSURE THE ECONOMY

In this paper, the subject of research is the properties of the distribution of the wireless spectrum in communication networks and the concept of sharing radio frequency bands. The purpose of the study is the analysis of radio frequency spectrum control systems to ensure the economy. This approach will help mitigate the sharp jump in demand for wireless spectrum characteristic of the world. Studies have been conducted on the model of sharing the radio frequency spectrum for spectrum distribution in this paradigm as a variant of using the mass Internet of Things on a local scale. A large deployment of the Internet was simulated and the spectral efficiency of the system in management compared to the standard 5G deployment was evaluated. The paper proposes a new method of spectrum sharing, based entirely on the dynamic coordination of supply and demand for network resources. It is based on the principles of the paradigm of the sharing economy. A detailed analysis of the current state of spectrum sharing and innovative contributions is presented. New forms of spectrum sharing based on the principles of the sharing economy are substantiated, then the architecture of the system with which this can be achieved is proposed. Based on the results obtained, the advantages of this approach are illustrated by an example of use associated with the mass deployment of the Internet. The final conclusions and important aspects for further study are also given.

**Key words:** radio frequency spectrum management; sharing of the radio frequency spectrum; use of the mass Internet of Things.

Количество используемых мобильных телефонов и планшетов в настоящее время значительно превышает количество стационарных телефонов и проводных устройств. Помимо телефонов и планшетов, к Интернету теперь также подключены миллиарды других

устройств, включая персональные устройства, автомобили, камеры, медицинские приборы, мусорные баки, светофоры и различные промышленные датчики и приводы. Это появление Интернета вещей (IoT) привело к резкому увеличению трафика данных по беспроводным средам. По данным Cisco (сетевое оборудование) [1], этот трафик вырос на 63% по сравнению с 2015 годом, достигнув в среднем 7,2 эксабайта в месяц. Пятое поколение мобильных сетей (5G) представляет собой значительную часть последних разработок в области беспроводной связи и, как ожидается, будет поддерживать этот массовый рост беспроводного Интернета вещей и потоковой передачи видео сверхвысокого разрешения. Это приведет к дальнейшему увеличению трафика беспроводной передачи данных, по крайней мере, в 5 раз к 2024 году [2].

Телекоммуникационная отрасль и регулирующие органы сталкиваются с серьезной проблемой удовлетворения этих постоянно растущих требований к пропускной способности беспроводной связи. Спектральные ресурсы всегда были дефицитными, и в будущем их станет еще больше. Нынешняя стратегия распределения спектра, которая по-прежнему основана на статическом распределении полос частот, многими рассматривается как расточительная. Было сделано несколько вкладов в уменьшение перегрузки спектра с использованием полос высоких радиочастот и связи в видимом свете. Однако широко признано, что несущие частоты ниже 6 ГГц в основном необходимы для беспроводной связи, включая 5G, из-за их более подходящих характеристик распространения. Учитывая этот пригодный для использования спектр, обсуждаются два типа решений. Во-первых, выделить больше спектра для связи, что неизбежно означает восстановление блоков низких и средних частот. Это решение, часто называемое рефреймингом или рефармингом спектра, слишком ограничено, когда приходится сталкиваться с такими высокими требованиями к радиочастотному спектру.

Второй тип решений – это различные формы совместного использования спектра. Совместному использованию спектра в последние несколько лет уделяется большое внимание, и оно продвигается как альтернатива фиксированной модели лицензирования, которая использовалась почти столетие. Обычно обсуждаются три структуры спектра, включающие в себя подходы гражданская широкополосная радиослужба Citizen Broadband Radio Service (CBRS), лицензионный общий доступ Licensed Shared Access (LSA) и параллельный общий доступ Concurrent Shared Access (CSA), которые обсуждаются более подробно в следующем разделе. Ключевое наблюдение, однако, заключается в том, что все эти модели по-прежнему полагаются на основного держателя лицензии (организацию или группу организаций), который имеет первичные права и может разрешить другим сторонам использовать спектр, который не использует основной держатель, только в квази-динамический способ.

Существуют полосы частот, где распределение (административное или рыночное) не применяется. Такие полосы частот, широко известные как не лицензируемые полосы частот, не принадлежат какой-либо организации и могут свободно использоваться заинтересованными сторонами для различных приложений [3]. Наиболее известная полоса частот в этом классе - 2,4 ГГц, которая широко используется для Wi-Fi, Bluetooth и многих других технологий связи. Здесь спектр разделяется дизайном протокола, но в конечном итоге приводит к полному истощению диапазона [4].

В настоящее время в распределении спектра по-прежнему преобладает административное распределение, контролируемое национальными регулирующими органами. Эти регуляторы также устанавливают статические условия того, как операторы могут использовать выделенный спектр, выраженный в предлагаемой пропускной

способности, покрытия и т. д., хотя эти условия не всегда отражают реальные потребности пользователей беспроводной связи [5].

Альтернативный подход заключается в применении законов рынка для стимулирования более справедливого и более ориентированного на потребителя распределения ресурсов спектра. При этом право на эксплуатацию блоков радиочастот будет предоставлено операторам, которые наиболее ценят этот спектр, например, по результатам аукционов. Этот подход был очень успешным в эпоху 3G, 4G и 5G.

Разновидностью LSA является CSA [6]. Здесь несколько операторов имеют общий доступ к одному и тому же блоку спектра, но скоординированным и управляемым образом. Примером может служить лицензирование клубов: лицензия выдается клубу операторов. Оператор может использовать весь блок, если он является единственным провайдером в регионе. Когда другой член клуба также хочет работать в этой области, он имеет право на справедливую долю блока. Это форма динамического совместного использования спектра, но временные шкалы измеряются неделями или месяцами, а не минутами или часами. CBRS также недавно был разрешен для использования в Соединенных Штатах. Здесь трехуровневая структура авторизации спектра позволяет одновременно использовать различные коммерческие модели для диапазона 3,5 ГГц [7]. Самый высокий уровень - это действующий доступ, при котором часть полосы частот резервируется для работы радара, аналогично административному распределению. На втором уровне, приоритетном доступе, поддиапазоны 10 МГц лицензируются на коммерческой основе, например, при рыночном распределении. В Общем авторизованном доступе пользователям разрешается использовать любую часть полосы, не назначенную пользователям более высокого уровня, но все же им необходимо приобрести временную недорогую лицензию на использование спектра, например, в одном здании.

Эффективное использование спектра станет ключевой проблемой в 6G и столкнется с дополнительными проблемами по сравнению с современными беспроводными технологиями, в основном из-за целевых скоростей передачи данных в несколько гигабит и более широкого набора потенциальных диапазонов спектра и стратегий управления спектром. Поэтому для 6G потребуются новые и интеллектуальные модели распределения и совместного использования спектра. Внедрение технологий виртуализации, программного обеспечения и программирования, включая искусственный интеллект (ИИ), несомненно, поможет решить эти проблемы. Эта тенденция уже началась в 5G, например, с введением SDN (программно-конфигурируемая сеть) и NFV (виртуализация сетевых функций) в ядро, как мы упоминали ранее, что сделало возможными такие концепции, как мобильные граничные вычисления Mobile Edge Computing (MEC) и нарезка сети. Эти ограничения можно резюмировать следующим образом:

- Существующие механизмы и платформы совместного использования спектра признают только операторов в качестве поставщиков услуг, тем самым исключая другие организации, которые владеют беспроводной сетью или управляют ею и которые могли бы предлагать доступ к беспроводному спектру;

- Им не хватает гибкости, что отражено в архитектуре современных беспроводных систем и их протоколах радиодоступа и распределения, которые слишком элементарны и не учитывают характеристики беспроводных устройств и их требования к трафику данных. Например, устройство IoT всегда будет пытаться подключиться к базовой станции своего оператора, хотя могут быть более близкие узлы сети радиодоступа (RAN), которые могут сэкономить им энергию.

Поэтому в этой статье наша цель состоит в том, чтобы устранить эти ограничения, предложив новую модель совместного использования спектра, применимую к сетям 6G, которая полностью основана на динамическом согласовании предложения и спроса на сетевые ресурсы. Он основан на принципах парадигмы экономики совместного потребления. В этой модели любой объект, который владеет или управляет беспроводным устройством (мобильными телефонами, точками доступа Wi-Fi и т. д.), может предлагать доступ к беспроводному спектру и, следовательно, может способствовать подключению беспроводных устройств.

Для нашего анализа мы сосредоточимся на двух показателях производительности:

- Отношение сигнал/помеха плюс шум (SINR): это среднее значение SINR для всех устройств IoT в сети;
- Вероятность отказа в подключении: это процент устройств, которые не могут достичь своих требований к скорости передачи данных.

Мы использовали имитацию плотного развертывания устройств IoT, обслуживаемых набором RAN, принадлежащих разным сетевым операторам, и все они развернуты на открытой площадке размером 250 м × 250 м. Затем мы представим подходы, которые могут обеспечить подключение к устройствам IoT при оптимизации пропускной способности сети, а также как они будут работать по мере увеличения количества устройств. Каждая сеть RAN может быть либо базовой станцией 5G (gNB), либо точкой доступа Wi-Fi 802.11ah (AP). В частности, подключение 5G обеспечивается 4 gNB, а подключение Wi-Fi предлагается 16 точками доступа 802.11ah. Кроме того, 20 узлов принадлежат 4 разным операторам, каждый из которых управляет 5 узлами. Мы предполагаем, что каждый узел предлагает восходящий канал шириной 5 МГц, работающий в диапазоне частот 880–915 МГц, и восходящий канал шириной 4 МГц в диапазоне частот 900–928 МГц в случае gNB и точек доступа Wi-Fi соответственно. Мы также предполагаем, что устройства IoT имеют мощность передачи от 1 до 10 дБм и скорость передачи данных от 8 кбит/с до 128 кбит/с. Выбранные настройки соответствуют плотной среде и следуют спецификациям 3GPP и IEEE. Обратите внимание, что цель этой реализации состоит в том, чтобы продемонстрировать преимущества нашей новой парадигмы совместного использования спектра, которую мы предполагаем для сетей 6G следующего поколения, посредством масштабного варианта использования IoT с использованием технологий, доступных в настоящее время на рынке, т. е. Wi-Fi и 5G. Как мы покажем в оставшейся части этого раздела, эти результаты будут стимулировать дальнейшие исследования, чтобы расширить наш подход на технологии следующего поколения на основе 6G.

Более того, для сравнения мы рассматриваем упрощенную версию 5G, которая соединяет каждое устройство IoT с ближайшим из 5 доступных узлов и не имеет доступа к возможностям подключения, предлагаемым другими операторами, тогда как контроллер может использовать всю среду. Реализация основанная на совместном использовании алгоритм Smart Connectivity на своей плоскости совместного использования радиоресурсов на основе информации, собранной на плоскости инфраструктуры. Эта информация включает в себя индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI), отслеживаемый RAN с каждого устройства IoT, и количество устройств, подключенных к каждой RAN. Этот алгоритм динамически подключает каждое устройство IoT к сети RAN, принадлежащей любому оператору RAN, имеющему наименьшее количество подключений и обеспечивающему достаточный RSSI на основе требований к скорости передачи данных.

Результаты производительности с точки зрения SINR для различного количества устройств IoT, распределенных в развернутой области. Верхний и нижний края прямоугольников на графике представляют собой 25-й и 75-й процентиля значений. Средние значения обозначены центральными красными линиями. Усы расширяют значения SINR до самых крайних точек, которые еще не считаются выбросами, а значения, которые мы считали выбросами, обозначены красными точками. Наш подход обеспечивает лучшую производительность с точки зрения SINR по сравнению с обычной работой 5G независимо от того, сколько устройств IoT подключено к сети.

#### Выводы:

1. Определено, что текущие модели распределения спектра для 5G по-прежнему основаны на относительно статичном распределении полос частот и централизованном лицензировании, при этом единственная альтернатива предоставляется не лицензируемыми полосами частот. Выявлено, что в любом случае при высоком спросе наблюдается ненужная перегрузка из-за неоптимального управления использованием спектра, допускаемого этими моделями;

2. Предложено новое видение совместного использования спектра в беспроводных и мобильных сетях, основанное на последних разработках экономических моделей совместного использования общих благ;

3. Представлена системная архитектура, открытой платформы, способной реализовать эту новую модель совместного использования, который основан на использовании спектра между операторами для оптимизации эффективности и масштабируемости на высоком уровне и основан на концепции программирования спектра вплоть до отдельных радиопрimitives для обеспечения точного управления протоколами;

4. Выявлено, что полученные результаты включают более широкое применение платформы для оптимизации других показателей, таких как эффективность, безопасность и качество обслуживания. Другими важными областями для исследования являются верхние плоскости платформы и межоператорская система распределения спектра.

#### Список литературы:

1. Ежегодный Интернет-отчет Cisco [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
2. Отчет Эрикссон о мобильности [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports/november-2020>.
3. Совместное использование спектра [Электронный ресурс]: позиция GSMA в отношении общественной политики. – 2019. – Режим доступа: <https://www.gsma.com/spectrum/wpcontent/uploads/2019/09/Spectrum-Sharing-PPP.pdf>.
4. **Базелон, К.** Лицензированные или нелицензионные: экономические соображения при поэтапном распределении спектра [Текст] / К. Базелон // Сообщество IEEE. Mag. – 2009. – С. 110-116.
5. **Хартог, Ф.** Путь к решению трагедии общественного пользования Wi-Fi в многоквартирных домах [Текст] / [Ф. Хартог, А. Расчелла, Ф. Бухафс и др.] // В материалах 27-й Междун. конфер. по сетям и приложениям электросвязи (ITNAC). – Мельбурн, 2017. – С. 1-6.
6. **Анкер, П.** От управления использованием спектра к управлению использованием спектра [Текст] / П. Анкер // Телекоммун. Политика. – 2017. – С. 486-497.
7. **Мустонен, М.** Эволюция в сторону когнитивных сотовых систем: лицензированный общий доступ для оптимизации сети [Текст] / [М. Мустонен, М. Матинмикко, М. Палола и др.]. – Сообщество IEEE. Mag. – 2015. – С. 68–74.

DOI:10.54834/16945220\_2023\_2\_39

Поступила в редакцию: 31.01.2023 г.