

ФИЗИКА PHYSICS

УДК 621.39:004.9

Сагымбаев А.А.*доктор технических наук, профессор***Аданбаев А.М.***старший преподаватель Кыргызско-Турецкого университета «Манас»***Сагымбаев Амантур А.***инженер сетевых оборудования облачного провайдера «IaaS RackCorp»***УПРАВЛЕНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫМ СПЕКТРОМ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ:
ВЫЗОВЫ, РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ****Сагымбаев А.А.***техникалык илимдердин доктору, профессор***Аданбаев А.М.***Кыргыз-Түрк «Манас» университетинин улук окутуучусу***Сагымбаев Амантур А.***«IaaS RackCorp» булут провайдеринин тармак операциялары боюнча инженери***КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНДА РАДИОЖЫШТЫК СПЕКТРИН БАШКАРУУ: КӨЙГӨЙ-
ЛӨР, ЧЕЧИМДЕР ЖАНА АВТОМАТТАШТЫРУУ КЕЛЕЧЕГИ****Sagymbaev A.A.***doctor of technical sciences, professor***Adanbaev A.M.***Senior Lecturer at Kyrgyz-Turkish Manas University***Sagymbaev Amantur A.***Network Operations Engineer at the Cloud Provider "IaaS RackCorp"***RADIO FREQUENCY SPECTRUM MANAGEMENT IN THE KYRGYZ REPUBLIC:
CHALLENGES, SOLUTIONS, AND AUTOMATION PROSPECTS**

Аннотация. Радиочастотный спектр (РЧС) является одним из важнейших ресурсов для функционирования телекоммуникационных систем, радиовещания, телевидения и национальной безопасности. В статье рассмотрены основные принципы управления радиочастотным спектром, включая его природные и технические особенности, методы планирования и распределения частот. Особое внимание уделено роли автоматизации процессов управления спектром с использованием современных программных продуктов и геоинформационных систем (ГИС). Также исследованы ключевые вызовы, с которыми сталкивается Кыргызстан при управлении спектром, включая нехватку квалифицированных специалистов, ограниченное финансирование и необходимость международной координации. В статье предложены рекомендации по улучшению законодательства, внедрению новых технологий, усилению международного сотрудничества и развитию инфраструктуры радиочастотного мониторинга в Кыргызстане. Автоматизация управления РЧС, использование искусственного интеллекта (ИИ) и ГИС открывают новые перспективы для повышения эффективности использования ограниченного радиочастотного ресурса.

Ключевые слова: Радиочастотный спектр, управление спектром, автоматизация, геоинформационные системы, радиосвязь, электромагнитная совместимость, лицензирование, радиомониторинг, искусственный интеллект, 5G, интернет вещей (IoT), международное сотрудничество, Кыргызстан.

Abstract. The radio frequency spectrum (RFS) is one of the most important resources for the functioning of telecommunications systems, broadcasting, television, and national security. This article discusses the main principles of radio frequency spectrum management, including its natural and

technical features, methods of frequency planning and allocation. Special attention is given to the role of process automation in spectrum management using modern software products and geographic information systems (GIS). The article also explores key challenges faced by Kyrgyzstan in spectrum management, including the lack of qualified specialists, limited funding, and the need for international coordination. Recommendations are provided for improving legislation, implementing new technologies, strengthening international cooperation, and developing the radio frequency monitoring infrastructure in Kyrgyzstan. The automation of RFS management, the use of artificial intelligence (AI), and GIS open new prospects for enhancing the efficiency of the limited radio frequency resource use.

Keywords: Radio frequency spectrum, spectrum management, automation, geographic information systems, radiocommunication, electromagnetic compatibility, licensing, radiomonitoring, artificial intelligence, 5G, Internet of Things (IoT), international cooperation, Kyrgyzstan.

Аннотация. Радиожыштык спектри (РЖС) телекоммуникациялык системалардын, радио жана телекөрсөтүүнүн, ошондой эле улуттук коопсуздуктун иштеши үчүн эң маанилүү ресурстардын бири болуп саналат. Бул макалада радиожыштык спектрин башкаруунун негизги принциптери, анын табигый жана техникалык өзгөчөлүктөрү, жыштыктарды пландаштыруу жана бөлүштүрүү ыкмалары каралат. Өзгөчө көңүл заманбап программалык камсыздоо жана геомаалыматтык тутумдарды (ГМТ) колдонуу аркылуу радиожыштык спектрин башкаруу процессин автоматташтырууга бурулат. Ошондой эле, макалада Кыргызстанда радио-жыштык спектрин башкаруу боюнча негизги көйгөйлөр, анын ичинде квалификациялуу адистердин жетишсиздиги, каржылоонун чектелиши жана эл аралык координациянын зарылдыгы талкууланат. Кыргыз Республикасында мыйзамдарды өркүндөтүү, жаңы технологияларды ишке ашыруу, эл аралык кызматташтыкты бекемдөө жана радио-жыштык мониторинг инфраструктурасын өнүктүрүү боюнча сунуштар берилет. Радио-жыштык спектрин башкарууну автоматташтыруу, жасалма интеллектти (ЖИ) жана геомаалыматтык тутумдарды колдонуу радио-жыштык ресурстарын натыйжалуу пайдаланууну жакшыртуунун жаңы келечектерин ачат.

Негизги сөздөр: Радио-жыштык спектри, спектрди башкаруу, автоматташтыруу, геомаалыматтык тутумдар, радиобайланыш, электромагниттик шайкештик, лицензиялоо, радиомониторинг, жасалма интеллект, 5G, Нерселер интернет (IoT), эл аралык кызматташтык, Кыргызстан.

Введение. Радиочастотный спектр (РЧС) является одним из наиболее важных природных ресурсов, обеспечивающих функционирование ключевых систем коммуникации, таких как телекоммуникации, радиовещание, телевидение, а также системы национальной безопасности. Его использование, как и других природных ресурсов, требует эффективного управления для обеспечения устойчивости и развития телекоммуникационной инфраструктуры [1].

В последние десятилетия наблюдается экспоненциальный рост потребности в радиочастотах, вызванный развитием новых технологий, таких как 5G, интернет вещей (IoT), спутниковая связь, а также значительным расширением использования радиочастотных диапазонов в коммерческих и научных целях [2]. Стремительное развитие этих технологий требует создания эффективных и устойчивых систем управления радиочастотным спектром, которые способны не только обеспечить стабильную работу суще-

ствующих систем, но и гарантировать возможность их развития в будущем.

Особое внимание в управлении РЧС необходимо уделить предотвращению помех между различными пользователями спектра, обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС), а также оптимизации использования ограниченных частотных ресурсов [3]. В этом контексте важным шагом является автоматизация управления РЧС с использованием современных программных комплексов, таких как автоматизированные системы управления радиочастотным спектром (АСУРЧС) и геоинформационные системы. Эти технологии позволяют повысить эффективность управления, минимизировать количество ошибок, а также ускорить процесс принятия решений в случае возникновения конфликтов между пользователями частотных диапазонов.

В Кыргызстане управление радиочастотным спектром регулируется рядом нормативно-правовых актов, направленных на

обеспечение рационального использования этого ресурса, координацию частотных присвоений и соблюдение международных стандартов. Государственные органы, такие как Государственная служба регулирования и надзора в отрасли связи при Министерстве цифрового развития, играют ключевую роль в регулировании использования РЧС, лицензировании и мониторинге спектра.

В этой статье рассмотрены основные принципы управления радиочастотным спектром, включая его природные и технические особенности, а также современные методы автоматизации управления, такие как использование программных продуктов и ГИС. Также будет уделено внимание нормативно-правовой базе, а также роли государственных органов в регулировании РЧС в Кыргызской Республике.

1. Радиочастотный спектр как стратегический природный ресурс. Радиочастотный спектр (РЧС) представляет собой ограниченный и ценный природный ресурс, который является основой для функционирования всех систем радиосвязи, телевидения, радиовещания и большинства современных технологий, включая мобильную связь, спутниковую связь, системы навигации и различные научные исследования [4,5]. Его использование, как и других природных ресурсов, требует эффективного управления для обеспечения устойчивости и развития телекоммуникационной инфраструктуры.

1.1. Природные и технические особенности радиочастотного спектра. Радиочастотный спектр - это диапазон электромагнитных волн, который используется для передачи информации в радиосистемах. Человечество с момента изобретения радио начало использовать радиочастоты для беспроводной связи. Современные технологии позволяют передавать информацию на огромные расстояния с помощью радиоволн, что сделало радиочастотный спектр основой глобальных коммуникационных систем. Однако, несмотря на свое природное происхождение, радиочастотный спектр не является бесконечным. Его использование ограничено как физическими законами, так и его распределением среди различных пользователей [2,4,6].

Каждая радиочастота представляет собой определенную длину волны с уникальными характеристиками, которые могут изменяться в зависимости от используемой технологии. Радиочастотный спектр делится

на диапазоны, каждый из которых используется для определенных целей, например, для мобильной связи, телевидения, спутниковой связи, навигации и других применений. Эти диапазоны имеют уникальные особенности распространения волн и восприимчивости к помехам, что важно учитывать при планировании и управлении спектром [2,7].

1.2. Ограниченность радиочастотного спектра. РЧС, как природный ресурс, имеет ряд ограничений, которые обусловлены его физической природой. Диапазоны частот нельзя изменять произвольно, и каждый из них имеет свои технические характеристики. Радиочастотный спектр является конечным и, несмотря на его значительное расширение с развитием новых технологий, его использование всегда будет ограничено. Например, на одно и то же частотное пространство могут претендовать несколько пользователей, что создает проблемы в случае одновременного использования частот в близких географических областях [8].

Основная сложность заключается в том, что радиочастотный спектр не может быть «сделан» бесконечным, и его распределение всегда будет сталкиваться с конкуренцией между пользователями спектра. Это приводит к необходимости тщательно планировать его использование и эффективно управлять доступом, чтобы избежать взаимных помех.

1.3. Роль радиочастотного спектра в экономике и безопасности. Радиочастотный спектр играет важную роль в современном обществе. Он не только обеспечивает связь и обмен информацией в различных областях, но и является ключевым элементом национальной безопасности. Спектр используется для систем экстренной связи, навигации, а также для военных и разведывательных технологий. Учитывая его стратегическую важность, управление радиочастотным спектром должно быть частью государственной политики [9].

В условиях растущего спроса на радиочастоты важно обеспечить эффективное распределение спектра между различными секторами и пользователями, что требует внедрения современных методов планирования и автоматизации управления. В некоторых странах радиочастотный спектр является государственным ресурсом, и его эффективное использование оказывает прямое влияние на развитие телекоммуникационной инфраструктуры, на безопасность и

на конкурентоспособность экономики [10].

1.4. Проблемы и вызовы управления РЧС. Одним из ключевых вызовов, с которым сталкиваются страны при управлении радиочастотным спектром, является нехватка свободных частотных диапазонов. В связи с увеличением количества пользователей спектра (например, развитие мобильных технологий, IoT, 5G) возникла необходимость в более рациональном и эффективном использовании доступных частот. Это привело к необходимости введения жестких стандартов и процедур для планирования и распределения частот, а также разработки технологий для мониторинга и предотвращения помех [11].

Растущий спрос на радиочастотный спектр в сочетании с ограниченностью ресурса приводит к международным конфликтам по использованию частот, особенно когда радиоволны не признают политические границы и могут перехватываться на большом расстоянии. Для решения этих проблем необходимо наладить международное сотрудничество, выработать унифицированные правила и стандарты для управления спектром, а также обеспечить синхронизацию национальных и международных нормативных актов [2,6,11,12].

1.5. Важность рационального использования радиочастотного спектра в Кыргызстане. Для Кыргызстана, как и для других стран, управление радиочастотным спектром является не только важным экономическим, но и политическим вопросом. В условиях ограниченности спектра, Кыргызстан сталкивается с необходимостью оптимизации использования частот, а также с вызовами, связанными с международной координацией. Внедрение эффективных систем управления РЧС и использование современных технологий для мониторинга и планирования являются ключевыми шагами для обеспечения устойчивого развития телекоммуникационной инфраструктуры и поддержки национальной безопасности [6].

2. Нормативно-правовая база управления радиочастотным спектром. Правильное управление радиочастотным спектром требует четкого нормативно-правового регулирования. В разных странах существуют законодательные акты и международные соглашения, которые регулируют использование радиочастот. Кыргызстан также имеет свою законодательную базу для управления этим важным ресурсом, что обеспечивает ра-

циональное распределение и защиту радиочастотного спектра на национальном и международном уровнях.

2.1. Законодательство Кыргызской Республики в области радиочастотного спектра. Основным документом, регулирующим использование радиочастотного спектра в Кыргызстане, является Закон Кыргызской Республики «О связи» [1]. Этот закон устанавливает правила лицензирования радиочастот, требования к электромагнитной совместимости, а также механизмы мониторинга и контроля за использованием спектра. Закон предусматривает создание нормативно-правовой базы для регулирования всех процессов, связанных с использованием радиочастотных ресурсов.

Согласно закону, радиочастоты являются государственной собственностью, и их использование подлежит строгому лицензированию. Также в законодательно установленном порядке регулируется координация частот на международном уровне, что является важным аспектом в связи с глобальной природой радиоволн и возможными пересечениями частотных диапазонов между соседними странами.

Кроме того, в рамках законодательства Кыргызстана установлены требования к электромагнитной совместимости, что обеспечивает минимизацию помех между радиосистемами. Важно, что законодательные акты Кыргызской Республики включают в себя не только правила эксплуатации радиочастот, но и рекомендации по учёту новых технологий, таких как 5G и IoT, которые становятся всё более востребованными в мире и в Кыргызстане.

2.2. Международное регулирование и сотрудничество. Учитывая, что радиочастотный спектр является глобальным ресурсом, эффективное его использование требует международного регулирования [2,7,8,10,11]. В этом контексте ключевую роль играет Международный союз электросвязи (МСЭ), который разрабатывает международные рекомендации и стандарты по управлению радиочастотным спектром. МСЭ осуществляет глобальную координацию частот и решает вопросы, связанные с пересечением частотных диапазонов между странами.

МСЭ определяет общие правила для использования радиочастотных диапазонов в различных странах, создавая международные договоры и рекомендации, которые учи-

тывают как технические, так и юридические аспекты управления спектром. Для Кыргызстана важным шагом является участие в этих международных инициативах и соблюдение рекомендаций МСЭ, что позволяет минимизировать риски частотных конфликтов с соседними странами и другими регионами.

Кроме того, существуют двусторонние и многосторонние соглашения между странами, которые регулируют использование радиочастотных диапазонов в приграничных зонах, где возможно пересечение радиоволн. Кыргызстан активно участвует в таких соглашениях, обеспечивая гармонизацию национальных и международных стандартов в области радиочастотного спектра.

2.3. Основные направления регулирования радиочастотного спектра в Кыргызстане. В Кыргызстане регулирование радиочастотного спектра осуществляется через несколько ключевых направлений [6,12]:

- Лицензирование: Все радиочастоты, используемые для телекоммуникаций, должны быть лицензированы государственными органами. Лицензирование обеспечивает контроль за использованием радиочастот и их распределение среди операторов и пользователей. Это позволяет избежать нарушений и помех между различными системами;

- Мониторинг использования спектра: Для обеспечения надлежащего использования радиочастот существует система мониторинга, которая отслеживает использование частот в реальном времени. Государственное агентство связи при Министерстве цифрового развития Кыргызской Республики отвечает за этот процесс. Система мониторинга позволяет выявлять незаконное использование частот, а также устранять помехи, возникающие в процессе эксплуатации радиосистем;

- Электромагнитная совместимость: Одной из важных задач управления спектром является обеспечение ЭМС, что подразумевает отсутствие помех между различными радиосистемами. В Кыргызстане для этого разработаны специальные нормы, которые регулируют мощность излучения, расстояния между радиостанциями и другие технические параметры, которые обеспечивают совместную работу различных систем;

- Международная координация: Важным аспектом является координация частот с соседними странами. Кыргызстан активно участвует в международных переговорах по частотному планированию, что позволяет

избежать конфликтов в приграничных зонах и обеспечить бесперебойное функционирование радиосистем.

2.4. Перспективы улучшения нормативно-правового регулирования. С учётом быстрого развития новых технологий, таких как 5G, IoT и спутниковая связь, требуется постоянное обновление нормативно-правовой базы для учёта новых реалий. В Кыргызстане необходимо внедрять новые законодательные инициативы, направленные на развитие телекоммуникационной инфраструктуры, включая создание более гибких и современных механизмов лицензирования, мониторинга и обеспечения электромагнитной совместимости.

Кроме того, важно продолжить активное участие в международных инициативах, направленных на совершенствование стандартов управления радиочастотным спектром. Это позволит Кыргызстану эффективно использовать радиочастотный спектр и интегрироваться в глобальную телекоммуникационную систему, обеспечивая конкурентоспособность на международной арене.

3. Методы управления радиочастотным спектром. Эффективное управление радиочастотным спектром требует применения различных методов и подходов, которые позволяют рационально распределить этот ограниченный ресурс, минимизировать помехи и обеспечить электромагнитную совместимость между различными радиосистемами. Важным аспектом является не только использование традиционных методов, но и внедрение инновационных решений, таких как автоматизация управления спектром с помощью программных продуктов и геоинформационных систем.

3.1. Принципы управления радиочастотным спектром. Управление радиочастотным спектром базируется на нескольких ключевых принципах, направленных на эффективное использование частотных ресурсов:

- Принцип равенства и справедливости: Это требование заключается в том, чтобы все пользователи спектра имели равный доступ к радиочастотам, что способствует конкурентоспособности и поддержанию справедливых условий для всех участников рынка;

- Принцип минимизации помех: Один из важнейших принципов управления РЧС. Для этого необходимо правильно планировать распределение частот, минимизируя возможные помехи между радиосистемами,

работающими в соседних диапазонах частот или на схожих частотах;

- Принцип рационального использования: Этот принцип предполагает, что каждый радиочастотный ресурс должен использоваться максимально эффективно. Это достигается через правильно организованное планирование и эффективное использование спектра на основе технических стандартов и нормативов;

- Принцип динамичности: В связи с ростом потребностей в радиочастотах, управление спектром должно быть гибким и адаптироваться к новым условиям, включая развитие новых технологий, таких как 5G, и расширение использования Интернета вещей.

3.2. Ключевые задачи управления радиочастотным спектром. Основные задачи, стоящие перед органами управления радиочастотным спектром, включают:

- Планирование частотного ресурса: Это процесс распределения частотных диапазонов среди различных пользователей с учётом требований по ЭМС и международных стандартов. Планирование включает в себя прогнозирование потребностей в частотах на основе текущих и будущих технологий и услуг;

- Лицензирование радиочастот: Важно обеспечить, чтобы только те организации или лица, которые имеют право на использование спектра, получали соответствующие лицензии. Лицензирование является неотъемлемой частью контроля за использованием радиочастот и предотвращения незаконного использования спектра;

- Мониторинг использования спектра: Системы мониторинга позволяют отслеживать, как эффективно используются частотные диапазоны, выявлять нарушения или незаконное использование частот, а также устранять помехи между различными пользователями спектра;

- Обеспечение электромагнитной совместимости: Задача ЭМС заключается в том, чтобы различные радиосистемы, работающие на соседних частотах, не мешали друг другу. Это требует точного планирования частотных диапазонов и соблюдения технических стандартов, регулирующих мощность излучения, частоту, диапазоны и другие параметры радиосистем;

- Международная координация: Радиоволны, как и другие природные ресурсы, не знают государственных границ. Поэтому

для предотвращения помех и конфликтов с соседними странами необходимо координировать использование радиочастот на международном уровне. Это включает в себя участие в международных соглашениях и форумах, таких как Международный союз электросвязи.

3.3. Методы управления радиочастотным спектром. Для выполнения указанных задач применяются различные методы управления спектром. Среди них можно выделить как традиционные подходы, так и более современные, с использованием автоматизированных систем и программного обеспечения.

Традиционные методы управления спектром:

- Механизмы распределения: Включают в себя распределение частот по определённым диапазонам в зависимости от назначения (например, для мобильной связи, радиовещания, спутниковых систем и т.д.). Эти методы также включают в себя выделение частотных блоков для различных пользователей, например, операторов мобильной связи или государственных учреждений;

- Методы разрешения конфликтов: В случае конфликтов, связанных с использованием радиочастот, применяются переговоры между сторонами и определение компромиссных решений для обеспечения совместного использования частот;

- Автоматизированные системы управления радиочастотным спектром: Современные АСУРЧС позволяют значительно повысить эффективность управления спектром. Эти системы автоматизируют процессы мониторинга, лицензирования и планирования частотных присвоений. Основными компонентами таких систем являются базы данных частотных присвоений, модули планирования спектра, средства радиомониторинга, модули анализа ЭМС и инструменты для лицензирования;

- Геоинформационные системы: ГИС используются для визуализации данных о размещении радиостанций, расчёта зон покрытия, анализа возможных помех и оптимизации размещения радиопередающих устройств. Внедрение ГИС позволяет значительно повысить точность планирования частотных присвоений, а также улучшить процесс мониторинга и координации использования спектра.

3.4. Преимущества и недостатки различных методов управления спектром.

Преимущества автоматизированных систем [13]:

- Эффективность: Снижается количество ошибок, ускоряется процесс планирования и распределения частот;
- Меньше помех: Благодаря точному расчёту зон покрытия и оптимизации частотных диапазонов, снижается уровень помех;
- Международная совместимость: Поддержка международных стандартов позволяет интегрировать систему с глобальной сетью.

Недостатки:

- Сложность внедрения: Для эффективно-го применения автоматизированных систем требуется высокая квалификация специалистов, а также значительные финансовые затраты на внедрение и обслуживание;
- Зависимость от технологий: При использовании программных продуктов и ГИС необходимо учитывать технические ограничения, такие как качество данных и скорость обработки.

4. Программные продукты для управления радиочастотным спектром. С развитием телекоммуникационных технологий и увеличением потребности в радиочастотах, становится всё более важным использование современных программных продуктов для управления спектром. Эти системы позволяют автоматизировать процессы планирования, лицензирования, мониторинга и обеспечения электромагнитной совместимости, что значительно повышает эффективность работы с ограниченным ресурсом. В данном разделе будут рассмотрены три ключевых программных продукта, широко используемых для управления радиочастотным спектром: SMS4DC, ICS Manager и SPECTRA [2,3,5].

4.1. SMS4DC (Spectrum Management System for Developing Countries). Описание: SMS4DC - это программное обеспечение, разработанное Международным союзом электросвязи, предназначенное для управления спектром в развивающихся странах. Система позволяет осуществлять планирование частот, управление лицензиями и мониторинг спектра [2].

Основные функции:

- Планирование частотных присвоений: Распределение частотных диапазонов для различных пользователей и услуг;
- Лицензирование радиочастот: Обработка заявок на лицензии, выдача лицензий и контроль за их использованием;
- Мониторинг использования спектра:

Отслеживание использования радиочастот и выявление нарушений;

- Моделирование зон покрытия: Расчёт зоны покрытия радиосетей для оптимизации использования спектра.

Преимущества:

- Доступность и простота использования: SMS4DC ориентирован на использование в развивающихся странах и имеет интуитивно понятный интерфейс;
- Поддержка международных стандартов: Система соответствует стандартам МСЭ, что гарантирует совместимость с другими международными системами.

Недостатки:

- Ограниченная масштабируемость: SMS4DC подходит для небольших и средних стран, но может быть неэффективен для крупных или высокотехнологичных телекоммуникационных систем;
- Ограниченные функции для сложных национальных систем: Система не имеет возможности для учёта сложных и специфических потребностей более развитых стран.

4.2. ICS Manager (ATDI). Описание: ICS Manager - это программный продукт компании ATDI, предназначенный для многофункционального управления радиочастотным спектром на национальном уровне. Этот продукт используется для планирования и координации частот, а также для мониторинга спектра и моделирования помех [3].

Основные функции:

- Планирование и координация частот: Оптимизация распределения частот в соответствии с международными нормами и требованиями;
- Управление лицензиями: Система автоматизирует процесс выдачи лицензий на использование частот и управление сроками действия лицензий;
- Моделирование зон покрытия и помех: Моделирование радиопокрытия и анализ помех с учётом различных факторов, включая рельеф местности и плотность застройки;
- Мониторинг использования спектра: Отслеживание текущего состояния спектра и выявление возможных нарушений.

Преимущества:

- Высокая точность инженерных расчетов: ICS Manager предлагает более точные расчеты при планировании частотных присвоений и анализа помех;
- Модульная структура: Программный продукт имеет гибкую архитектуру, позволяя настраивать систему под нужды конкретного пользователя;

Недостатки:

- Высокая стоимость лицензии: В сравнении с другими системами, ICS Manager требует значительных затрат на лицензирование и обучение;

- Сложность внедрения и обучения: Система требует квалифицированных специалистов для установки и эксплуатации, что может затруднить её внедрение в некоторых странах.

4.3. SPECTRA (LS Telcom). Описание: SPECTRA - это программный продукт компании LS Telcom, который предоставляет комплексное решение для управления радиочастотным спектром как на национальном, так и на международном уровнях. Программа охватывает все аспекты управления спектром, от планирования частотных присвоений до анализа помех и лицензирования [5].

Основные функции:

- Планирование частотных присвоений: Распределение частот для различных сервисов и пользователей;

- Анализ помех и мониторинг спектра: Выявление помех и контроль за состоянием спектра в реальном времени;

- Управление лицензиями: Автоматиза-

ция процессов получения и продления лицензий на использование частот;

- Генерация технических отчётов: Подготовка отчетности по использованию спектра и состоянию радиочастотных диапазонов.

Преимущества:

- Высокая масштабируемость: SPECTRA подходит как для малых стран, так и для крупных телекоммуникационных рынков;

- Совместимость с международными стандартами: Программа соответствует стандартам ITU и другим международным организациям;

- Гибкость: Возможность настройки системы под уникальные требования пользователей и стран.

Недостатки:

- Высокая стоимость лицензии и обслуживания: Подобные решения требуют значительных затрат на покупку, внедрение и обслуживание;

- Сложность настройки: Программа требует от пользователей определённого уровня технической подготовки для полноценного использования.

4.4. Сравнительная таблица программных продуктов

Программный продукт	Преимущества	Недостатки
SMS4DC	Простота использования, соответствие международным стандартам	Ограниченная масштабируемость, ограниченные функции
ICS Manager	Высокая точность расчётов, гибкость настройки	Высокая стоимость, сложность внедрения
SPECTRA	Высокая масштабируемость, совместимость с международными стандартами	Высокая стоимость, сложность настройки

4.5. Перспективы развития программных решений. В будущем, с учетом роста по-

требности в радиочастотах и расширения диапазонов, программные решения для управления спектром будут развиваться в направлении повышения автоматизации, улучшения точности расчетов и интеграции с новыми технологиями, такими как 5G, IoT и спутниковая связь. Ожидается, что в ближайшие годы появятся новые системы, которые смогут эффективно учитывать большие объёмы данных и работать с более сложными требованиями, предъявляемыми к радиочастотному спектру.

5. Геоинформационные системы в управлении радиочастотным спектром. Геоинформационные системы играют важную роль в современном управлении радиочастотным спектром, поскольку они

позволяют не только собирать и хранить пространственные данные, но и анализировать их для улучшения планирования, мониторинга и координации использования спектра. ГИС используются для точного расчета зон покрытия радиосетей, анализа помех, оптимизации размещения радиостанций и базовых станций, а также для прогнозирования влияния новых радиосистем на существующие частотные диапазоны [14].

5.1. Основные функции ГИС в управлении радиочастотным спектром. Геоинформационные системы обладают рядом функций, которые делают их неотъемлемой частью эффективного управления радиочастотным спектром [14,15]:

- Расчет зон покрытия: ГИС используются для моделирования зон покрытия радиосетей с учетом топографии местности, плотности застройки и других факторов. Это позволяет определить, в каких районах будет доступна радиосвязь, а также выбрать оптимальные места для установки радиопередающих устройств;

- Анализ помех: ГИС могут анализировать потенциальные источники помех в определенной географической области. Это важно для предотвращения конфликтов между радиосистемами, работающими на близких частотах или в соседних диапазонах. Анализ помех помогает выявить и устранить проблемы с электромагнитной совместимостью;

- Оптимизация размещения оборудования: Одной из ключевых задач является правильное размещение радиостанций и базовых станций. ГИС помогают найти оптимальные места для размещения радиопередающих устройств с учётом всех факторов: рельефа местности, плотности населения, наличия препятствий и других технических параметров;

- Мониторинг спектра: Системы ГИС позволяют визуализировать и анализировать загруженность различных частотных диапазонов в реальном времени. Это помогает своевременно выявлять перегрузки и оптимизировать распределение частот;

Прогнозирование распространения радиоволн: ГИС используются для моделирования распространения радиоволн с учётом различных факторов, таких как рельеф местности, препятствия, а также климатические условия. Это помогает точно прогнозировать эффективность работы радиосетей в разных условиях.

5.2. Основные компоненты ГИС для управления РЧС. Геоинформационные системы, используемые в управлении радиочастотным спектром, состоят из нескольких ключевых компонентов, которые обеспечивают сбор, обработку и визуализацию данных [14,15]:

- Базы данных пространственных данных: Эти базы содержат географическую информацию о территории, включая топографию, здания, инфраструктуру и другие характеристики, которые могут повлиять на распространение радиоволн. Данные интегрируются с другими информационными системами, что позволяет повысить точность расчетов;

- Картографические модули: Картографические модули обеспечивают визуализацию

данных на цифровых картах. Они позволяют пользователю интерактивно работать с картами, анализировать различные параметры и принимать решения на основе представленных данных;

- Модули анализа: Эти модули используются для анализа данных о радиопокрытии и помехах. Например, они могут рассчитывать зоны покрытия на основе параметров передатчиков и моделировать распространение радиоволн с учётом рельефа местности;

- Системы поддержки принятия решений: Эти системы помогают в принятии решений по размещению новых передающих станций, анализируя различные сценарии. Они обеспечивают моделирование работы радиосетей в различных условиях, что помогает выбрать наиболее оптимальное решение.

5.3. Преимущества использования ГИС в управлении РЧС. Использование геоинформационных систем в управлении радиочастотным спектром имеет ряд преимуществ, которые способствуют улучшению качества управления спектром:

- Точность: ГИС позволяют учитывать топографические особенности местности, что делает расчеты зон покрытия более точными. Это особенно важно в районах с сложным рельефом, где другие методы планирования могут быть недостаточно точными;

- Визуализация: На картографических модулях можно наглядно представить данные, что упрощает анализ и принятие решений. Визуализация помогает выявить проблемные области и оценить влияние радиосистем на окружающую среду;

- Интеграция: ГИС могут интегрироваться с другими системами управления спектром, что позволяет создать единое информационное пространство для планирования, мониторинга и анализа использования спектра;

- Гибкость: ГИС можно адаптировать под различные сценарии использования. Например, система может быть настроена для анализа различных типов радиосетей, таких как мобильные сети, спутниковая связь или системы телевидения.

5.4. Примеры применения ГИС в управлении радиочастотным спектром.

Геоинформационные системы активно используются в разных странах для управления радиочастотным спектром [15]. Например:

- В Европейском Союзе системы ГИС применяются для оптимизации размещения базовых станций 5G. Это позволяет эффек-

тивно использовать доступный спектр и минимизировать помехи;

- В США ГИС используются для анализа радиочастотных диапазонов и планирования новых частотных присвоений для спутниковых систем. Также система помогает в мониторинге использования спектра в реальном времени;

- В России ГИС используются для расчета зон покрытия и анализа помех в национальных радиосистемах. Системы позволяют оптимизировать размещение передающих устройств и минимизировать риски частотных конфликтов.

5.5. Перспективы развития ГИС в управлении спектром. С развитием новых технологий, таких как 5G, IoT, спутниковая связь, использование ГИС в управлении радиочастотным спектром будет становиться всё более важным. В будущем ожидается, что системы ГИС будут интегрироваться с другими инновационными решениями, такими как искусственный интеллект и машинное обучение, что позволит повысить точность прогнозирования и оптимизации использования спектра.

Кроме того, ожидается, что с развитием технологий будет увеличиваться количество данных, которые ГИС смогут обрабатывать. Это приведет к улучшению качества моделирования, а также расширению функционала для более точного и оперативного управления радиочастотами.

6. Ключевые вызовы и решения в автоматизации управления РЧС в Кыргызстане. Автоматизация управления радиочастотным спектром - это важный шаг на пути к более эффективному использованию этого ограниченного ресурса. Для Кыргызстана внедрение автоматизированных систем управления спектром имеет ключевое значение, поскольку это позволяет улучшить процесс планирования, мониторинга и лицензирования, а также минимизировать риски помех и нарушений. Однако процесс автоматизации столкнулся с рядом вызовов, которые необходимо преодолеть для успешного внедрения таких технологий в стране.

6.1. Недостаток квалифицированных специалистов. Одним из основных вызовов является нехватка квалифицированных специалистов в области управления радиочастотным спектром и работы с автоматизированными системами. Для эффективного использования современных программных продуктов и геоинформационных систем

требуется высокая степень технической подготовки и понимания процессов распределения спектра, а также способности работать с большими объемами данных и моделями радиопокрытия.

Для решения этой проблемы необходимо инвестировать в обучение и повышение квалификации специалистов в области управления спектром. Организация специализированных курсов и тренингов, а также сотрудничество с международными организациями, такими как Международный союз электросвязи, поможет создать необходимую базу знаний и навыков.

6.2. Ограниченное финансирование технического оснащения. Еще одной проблемой является ограниченность финансирования для приобретения и внедрения современных автоматизированных систем управления спектром. Внедрение таких систем требует значительных инвестиций в программное обеспечение, оборудование, а также в инфраструктуру для сбора и обработки данных.

Для решения данной проблемы Кыргызстану необходимо привлекать международные гранты и финансирование для разработки и внедрения автоматизированных систем. Также возможно сотрудничество с частными компаниями, что может помочь снизить затраты на приобретение и внедрение таких систем.

6.3. Конфликты из-за частотных помех. Несмотря на наличие существующих нормативно-правовых актов, регулирование использования радиочастот сталкивается с проблемами, связанными с помехами между различными радиосистемами. Это особенно актуально в условиях растущего спроса на частоты, например, для 5G и спутниковых технологий, когда системы, работающие на близких частотах, могут создавать помехи.

Для решения этого вопроса необходимо применение более продвинутых методов мониторинга спектра, таких как использование автоматизированных систем для анализа помех в реальном времени, может значительно снизить этот риск. Совместное использование данных с международными базами данных и координация частот на международном уровне также будут способствовать улучшению ситуации.

6.4. Необходимость гармонизации законодательства с международными стандартами. Еще одной важной проблемой является необходимость приведения наци-

ональных нормативно-правовых актов в соответствие с международными стандартами. Без этого могут возникать проблемы с интеграцией Кыргызстана в международную телекоммуникационную систему, а также с координацией частотных диапазонов с соседними странами.

Для устранения этой проблемы важно продолжать участие в международных форумах и соглашениях, таких как ITU, для обеспечения согласованности национальных и международных стандартов. Важно также актуализировать законодательство, принимая во внимание развитие новых технологий, таких как 5G, IoT и спутниковая связь.

6.5. Отсутствие интеграции между различными системами управления спектром. В настоящее время в Кыргызстане отсутствует единая система, которая бы интегрировала все процессы управления радиочастотным спектром - от лицензирования до мониторинга и анализа помех. Разделенность информационных систем приводит к затруднениям в принятии быстрых решений и повышает риск ошибок.

Для эффективного управления спектром необходимо внедрить интегрированные системы управления, которые объединят все процессы в единую сеть. Это позволит упростить процесс принятия решений, повысить прозрачность и улучшить координацию на всех уровнях. Также важно развивать системы для обмена данными между различными государственными и частными структурами.

6.6. Перспективы и стратегические направления автоматизации управления РЧС. Для достижения более эффективного управления радиочастотным спектром Кыргызстану необходимо разработать стратегию по внедрению автоматизации, которая будет учитывать все существующие проблемы и вызовы. Важно создавать системы, которые смогут эффективно работать не только с текущими потребностями, но и с перспективами, связанными с развитием новых технологий.

Для решения этой проблемы следует сосредоточиться на следующих стратегических направлениях:

- Развитие инфраструктуры для автоматизированного мониторинга и управления спектром, включая создание национальных баз данных и платформ для координации частот;

- Внедрение новых технологий, таких как искусственный интеллект и машинное об-

учение, для более точного планирования и прогнозирования потребностей в спектре;

- Разработка гибких и адаптируемых систем, которые смогут учитывать изменения в законодательстве и технологических тенденциях, таких как внедрение 5G и IoT.

7. Перспективы развития управления радиочастотным спектром в Кыргызстане. С учётом глобальных тенденций в развитии телекоммуникационных технологий и увеличения потребности в радиочастотах, Кыргызстан стоит перед важной задачей по модернизации и расширению системы управления радиочастотным спектром. Внедрение новых технологий, таких как 5G, IoT, спутниковая связь, требует от государства не только адаптации существующего законодательства, но и внедрения современных методов и инструментов для управления спектром.

7.1. Развитие нормативно-правовой базы. Одним из ключевых направлений в улучшении управления радиочастотным спектром является развитие и актуализация нормативно-правовой базы. В условиях быстрого развития новых технологий и расширения спектра радиосервисов законодательство должно быть гибким и адаптируемым.

Для решения этой проблемы необходимо решить следующие задачи:

- Обновление законодательства: Важно учесть новые технологии, такие как 5G, IoT, а также улучшить механизмы лицензирования и мониторинга спектра. Законодательные инициативы должны предусматривать ясные правила для внедрения и эксплуатации новых радиосистем, таких как спутниковая связь или системы беспроводных сенсоров;

- Интеграция с международными стандартами: Кыргызстану необходимо продолжить сотрудничество с международными организациями, такими как Международный союз электросвязи, для гармонизации национальных стандартов с мировыми тенденциями и требованиями;

- Адаптация законодательства к новым вызовам: Одним из аспектов, требующих изменений, является регулирование частотных помех между различными типами радиосистем, особенно с учётом новых радиочастотных технологий. Важно, чтобы нормативные акты Кыргызстана могли оперативно реагировать на новые вызовы в связи с развитием спутниковых технологий, беспроводных сетей и т.д.

7.2. Внедрение новых технологий и автоматизация. Для дальнейшего улучшения управления радиочастотным спектром Кыргызстану необходимо активное внедрение новых технологий, таких как ИИ и машинное обучение, а также улучшение существующих автоматизированных систем управления спектром.

Перспективы:

- Искусственный интеллект и машинное обучение: С помощью ИИ можно улучшить процессы планирования спектра, прогнозирования потребностей в частотах, а также анализировать данные о помехах и оптимизировать распределение частот. Применение машинного обучения может позволить системе самостоятельно адаптироваться к изменениям в использовании радиочастот и автоматически корректировать распределение спектра для предотвращения конфликтов;

- Модернизация программных комплексов: Внедрение более современных систем управления спектром, таких как обновлённые версии SMS4DC или ICS Manager, позволит повысить точность расчётов, улучшить процессы мониторинга и лицензирования, а также минимизировать ошибки и потери данных;

- Интеграция с ГИС: Геоинформационные системы играют важную роль в управлении спектром, особенно для расчета зон покрытия и анализа помех. Внедрение более совершенных и интегрированных ГИС, которые могут работать с большим объемом данных, улучшит качество планирования и мониторинга спектра в реальном времени.

7.3. Развитие инфраструктуры для управления спектром. Для успешного управления радиочастотным спектром необходимо модернизировать инфраструктуру страны, включая создание национальных баз данных, установление эффективных платформ для координации частот и улучшение систем мониторинга.

Перспективы:

- Создание единой базы данных радиочастот: Разработка и внедрение единой национальной базы данных радиочастотных присвоений и лицензий поможет упростить процесс управления спектром и повысить его прозрачность. Важно, чтобы база данных была доступна для всех участников рынка и обновлялась в реальном времени;

- Создание центров мониторинга спектра: Для более эффективного мониторинга

использования радиочастот необходимо создать специализированные центры мониторинга, которые смогут в реальном времени отслеживать использование спектра и предотвращать возможные нарушения;

- Оптимизация радиомониторинга: Важно внедрить новые системы для радиомониторинга с использованием более точных и современных технологий, которые могут работать с большими объемами данных и оперативно выявлять нарушения, такие как незаконное использование частот или помехи.

7.4. Развитие международного сотрудничества. С учетом глобальной природы радиочастотного спектра, Кыргызстану необходимо продолжать активно участвовать в международных форумах и соглашениях, направленных на координацию использования спектра и предотвращение помех между соседними странами.

Перспективы:

- Участие в международных соглашениях: Важно продолжить участие в двусторонних и многосторонних соглашениях, касающихся использования радиочастотных диапазонов, чтобы избежать частотных конфликтов и помех в приграничных зонах;

- Гармонизация стандартов: Приведение национальных стандартов и технологий в соответствие с международными требованиями поможет Кыргызстану интегрировать свои системы управления спектром в глобальную инфраструктуру. Это также повысит конкурентоспособность страны на международной арене.

7.5. Образование и повышение квалификации. Одной из важнейших составляющих успешного управления радиочастотным спектром является повышение квалификации специалистов в области управления спектром и радиотехнологий.

Перспективы:

- Образование и профессиональная подготовка: Создание образовательных программ, курсов и тренингов, ориентированных на подготовку специалистов в области радиочастотных технологий, искусственного интеллекта, а также ГИС, улучшит качество работы в данной сфере;

- Сотрудничество с международными экспертами: Важно продолжать сотрудничество с международными экспертами и организациями для обмена опытом и внедрения передовых технологий в области управления спектром.

Заключение

Управление радиочастотным спектром является основным элементом для функционирования современных телекоммуникационных и радиосистем, включая мобильную связь, телевидение, радиовещание и многие другие области, которые непосредственно влияют на экономику и безопасность страны. В условиях постоянного роста потребностей в радиочастотах, вызванного развитием технологий, таких как 5G, Интернет вещей и спутниковая связь, эффективное управление РЧС становится всё более актуальным.

Основным вызовом для Кыргызстана является необходимость гармонизации и улучшения нормативно-правовой базы, что позволит эффективно управлять этим ценным ресурсом. В статье была рассмотрена роль различных государственных органов в регулировании и мониторинге спектра, а также ключевые аспекты, такие как лицензирование, электромагнитная совместимость и международная координация частотных диапазонов. Для эффективного использования радиочастотного спектра в Кыргызстане важно внедрять современные технологии, такие как автоматизированные системы управления спектром и геоинформационные системы, которые позволяют повысить точность планирования, минимизировать помехи и ускорить принятие решений.

Внедрение автоматизации, использование искусственного интеллекта и машинного обучения откроет новые горизонты для улучшения управления радиочастотами. Эти технологии способны не только оптимизиро-

вать распределение спектра, но и сделать процесс управления гибким и адаптируемым к изменениям в технологической и правовой среде. Важным шагом на пути к эффективному управлению спектром является создание единой системы для мониторинга и анализа использования радиочастот, что обеспечит высокую степень прозрачности и минимизирует риски нарушения норм и стандартов.

Существующие проблемы, такие как нехватка квалифицированных специалистов, ограниченное финансирование и необходимость международной координации, требуют комплексного подхода. Поэтому важно продолжать сотрудничество с международными организациями, такими как Международный союз электросвязи, для обеспечения соответствия национальных стандартов мировым тенденциям. Важно также укреплять инфраструктуру радиочастотного мониторинга и развивать кадровый потенциал, что позволит эффективно управлять радиочастотным спектром в условиях динамично развивающихся технологий.

Таким образом, для обеспечения устойчивого развития телекоммуникационной инфраструктуры Кыргызстану необходимо модернизировать существующие системы управления РЧС, активно внедрять новые технологии, а также развивать международное сотрудничество в сфере частотного регулирования. Только таким образом можно обеспечить эффективное использование радиочастотного спектра, минимизировать риски помех и обеспечить дальнейшее развитие телекоммуникационных технологий в стране.

Литература

1. Закон Кыргызской Республики «О связи». – Доступно по: <https://www.mcd.gov.kg/ru/documents/zakon-o-svyazi> (дата обращения: 05.01.2025).
2. Международный союз электросвязи (МСЭ). Рекомендации и стандарты по управлению радиочастотным спектром. – Доступно по: <https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/fmd/Pages/radio-frequency-spectrum.aspx> (дата обращения: 06.01.2025).
3. ATDI. Официальная документация системы ICS Manager. – Доступно по: <https://www.atdi.com/ics-manager> (дата обращения: 12.01.2025).
4. Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. – М.: Эко-Трендз, 2006.
5. LS Telcom. Описание продуктов линейки SPECTRA. – Доступно по: <https://www.lstelcom.com/en/solutions/spectra> (дата обращения: 12.01.2025).
6. Государственная служба регулирования и надзора в отрасли при Министерстве цифрового развития Кыргызской Республики. Официальные публикации и отчёты. – Доступно по: <https://www.mcd.gov.kg> (дата обращения: 12.01.2025).
7. Устойчивое управление радиочастотным спектром: проблемы и решения // журнал Телекоммуникации. – 2020. – №3. – С. 45–52.

8. Икрамов В., Раджабов С. Современные методы управления радиочастотным спектром в условиях глобализации. – М.: Научный мир, 2019. – 224 с.
9. Роль радиочастотного спектра в национальной безопасности: международный опыт. – М.: Высшая школа экономики, 2021. – 176 с.
10. Международный обзор инноваций в управлении спектром. – Нью-Йорк: ООН, 2022. – 142 с.
11. Международный союз электросвязи. Международные стандарты ITU в управлении радиочастотным спектром. – Женева: МСЭ, 2021. – 88 с.
12. Обзор состояния радиочастотного спектра Кыргызстана // Министерство цифрового развития Кыргызской Республики. – Бишкек, 2023. – 52 с.
13. Роль автоматизации в управлении радиочастотным спектром // журнал Телекоммуникации. – 2020. – №4. – С. 38–47.
14. Международный союз электросвязи. Рекомендации по использованию геоинформационных систем в управлении радиочастотным спектром. – Женева: МСЭ, 2021. – 72 с.
15. Использование ГИС для анализа помех в радиосистемах. – Лондон: Cambridge Press, 2022. – 98 с.