

УДК: 004.056

EDN: IQCQMH

DOI: <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0201-0215>



Управление помехами в гетерогенных сетях

С. А. Нуриев, И. Н. Карцан

ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН», г. Севастополь, Россия

Аннотация. Беспроводная сеть связи пятого поколения (5G) требует более высокой пропускной способности для достижения большей скорости передачи данных. Она будет в основном характеризоваться развертыванием малых сот, как правило, в радиусе 200 метров/сота. Внедрение сетей малого размера обеспечивает различные преимущества, такие как высокая скорость передачи данных и низкая задержка сигнала. Однако она также страдает от различных проблем, таких как межсотовые, внутрисотовые и межпользовательские помехи. В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с управлением помехами для сети 5G с точки зрения гетерогенной сети и связи между устройствами, с использованием таких технологий, как координация межсотовых помех, координация многоточечной связи и координация планирования. Также описаны будущие направления, предложенные в рамках проекта 3rd Generation Partnership Project для борьбы с помехами при работе, в том числе, и на морской платформе Черноморского гидрофизического подспутникового полигона.

Ключевые слова: связь пятого поколения, управление помехами, гетерогенные сети, защита информации, информационная безопасность, методы уменьшения помех.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № FNNN-2024-0016.

Для цитирования: Карцан, И. Н., & Нуриев, С. А. (2024). Управление помехами в гетерогенных сетях. Современные инновации, системы и технологии - Modern Innovations, Systems and Technologies, 4(1), 0201–0215. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0201-0215>

Interference management in heterogeneous networks

S. A. Nuriev, I. N. Kartsan

*FSBUN FIC "Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences",
Sevastopol, Russia*

Abstract. The fifth generation (5G) wireless communication network requires higher bandwidth to achieve higher data rates. It will be mainly characterised by the deployment of small cells, typically within a radius of 200 metres/cell. The deployment of small cell networks offers various advantages such as high data rates and low signal latency. However, it also suffers from various problems such as inter-cell, intra-cell and inter-user interference. This paper discusses the issues related to interference management for 5G network from the perspective of heterogeneous network and device-to-device communication using techniques such as inter-cell interference coordination, multipoint coordination

and scheduling coordination. Also described are the future directions proposed within the 3rd Generation Partnership Project to combat interference with the Black Sea Hydrophysical Sub-satellite Range offshore platform.

Keywords: fifth generation communication, interference management, heterogeneous networks, information protection, information security, interference mitigation methods.

Acknowledgements: This study was supported by the Russian Federation State Task № FNNN-2024-0016.

For citation: Kartsan, I. N., & Nuriev, S. A. (2024). Interference management in heterogeneous networks. Modern Innovations, Systems and Technologies, 4(1), 0201–0215. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-1-0201-0215>

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к высокой скорости передачи данных для пользователей мобильной связи заставляют изобретать новые технологии для развития сетей доступа в рамках проекта 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Ряд исследователей и операторов мобильной связи сотрудничают с 3GPP для достижения более высокой пропускной способности с большей пропускной способностью для пользователей. Следующее поколение мобильных сетей будет называться 5G и, как ожидается, существенно расширит свое коммерческое использование. Прогнозируемая скорость передачи данных для сети 5G составляет около 100 Гбит/с с минимальной задержкой в 1 мс, а также более высокой пропускной способностью и временем автономной работы. Для достижения приемлемого качества обслуживания (Quality of Service/QoS) разрабатываются различные потенциальные решения, такие как использование диапазона частот миллиметровых волн (mm-wave), массовый множественный вход и множественный выход (MIMO), кооперативная сеть с использованием узлов ретрансляции (RN), координированная многоточка (CoMP), беспроводная программно-определяемая сеть (WSDN), связь между устройствами (D2D), Интернет вещей (IoT), пассивная оптическая сеть Ethernet (EPON), большие данные и мобильные облачные вычисления. Кроме того, в настоящее время разрабатывается несколько алгоритмов оптимизации энергопотребления и планирования, которые могут быть внедрены в существующие технологии для достижения более высокой общей производительности сети.

ОРГАНИЗАЦИЯ 5G СВЯЗИ

С увеличением количества устройств связи возникает потребность в более высокой пропускной способности. Поэтому необходимо разработать надежное решение, ориентированное с упором на обеспечение высокой спектральной эффективности при приемлемой производительности сети. Более высокая скорость передачи данных и большая емкость на стороне пользователя могут быть достигнуты путем выделения большего количества ресурсных блоков (RB) для каждого пользователя в сети, поэтому более высокая пропускная способность является обязательным условием [1-5]. Другими словами, более высокая пропускная способность позволит мобильным пользователям загружать и выгружать современные мультимедийные услуги, включая видеозвонки высокой четкости (HD), потоковую передачу и другие приложения, требовательные к объему данных.

Это также поможет снизить сложность сети и обеспечить высокий уровень QoS за счет уменьшения задержек при передаче данных из конца в конец. Высокочастотные диапазоны миллиметровых волн считаются идеальным местом для 5G, так как здесь еще не задействована обширная полоса частот, которая может обеспечить большую пропускную способность.

Однако в высокочастотных сверхплотных сетях дальность передачи сокращается из-за меньшей длины волны и различных внутрисотовых помех от соседних устройств. В то же время в беспроводных городских сетях пользователи страдают от проблем рассеяния из-за большого количества препятствий на небольшой площади. Кроме того, пользовательское оборудование (UEs), расположенное на краю соты, получает слабые сигналы по сравнению с минимальным уровнем сигнала, необходимым для связи. В такой ситуации развертывание небольшой базовой станции (БС) внутри соты для повышения уровня сигнала не рассматривается как эффективное решение, поскольку это может увеличить межсотовую интерференцию (ICI), что требует более сложного алгоритма координированного планирования (CS) с лишними затратами. Для решения этих проблем предлагается высокоэффективное решение, которое предусматривает использование приемопередатчиков на основе инфраструктуры внутри соты для создания многоходовой сети связи. Эти приемопередатчики действуют как RN, чтобы обслуживать мобильных пользователей с высокой эффективностью и низкой стоимостью. Это решение является ключевым достижением для удовлетворения

растущего спроса (как показано на рис. 1), оно обеспечивает эффективное (I) расширение зоны покрытия и (II) улучшение разнообразия. Также можно обеспечить лучшее спектральное разнообразие и более высокую пропускную способность за счет выбора подходящих схем модуляции и кодирования (MCS). Фундаментальный принцип развертывания RN заключается в получении информации от БС и доставке ее UE (или наоборот) при повышении качества сигнала без существенной потери информации.

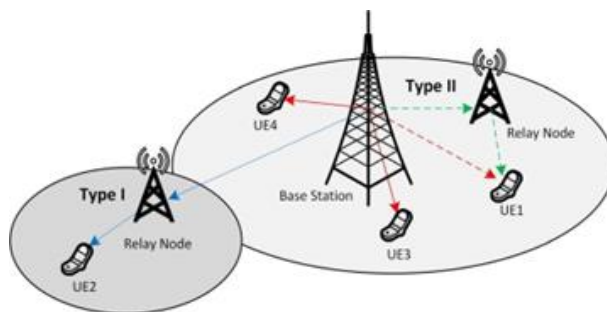


Рисунок 1. Применение ретранслятора: I расширение зоны покрытия, II улучшение разнообразия.

Figure 1. Repeater application: I increase coverage, II improve diversity.

Другими словами, более высокий уровень улучшения разнообразия может быть достигнут за счет развертывания нескольких RN в зоне покрытия соты с большой достижимой скоростью передачи данных пользователей.

В сетях 5G ожидаются значительные фундаментальные изменения в запросах местных пользователей. Однако перестраивать всю сеть каждый раз, когда она забивается трафиком, нецелесообразно, поэтому более реалистичным подходом является принятие реконфигурируемого решения. Более того, спрос на данные для плоскости пользователя (UP) и плоскости управления (CP) в сети 5G, вероятно, будет расти с разной скоростью, что приведет к необходимости отдельного масштабируемого решения, а требования пользователей будут расти вместе с их нетерпимостью к неработающим приложениям. Для достижения оптимальной производительности в сетях 5G будет применяться более скоординированный подход к технологии сетей радиодоступа (RAN), основанный на передаче CoMP и координации межсотовых помех (ICIC), как это уже было продемонстрировано в последних системах Release-15 [6-10].

Одновременная работа макро-, микро-, пико- и фемтосот обозначается как HetNet. Управление помехами является одной из наиболее важных задач в связи с несогласованным характером развертывания HetNet. В традиционных конфигурациях

HetNet между макро-БС (MBS) и пико-БС (PBS) или между MBS и другими БС с меньшей мощностью вводится смещение мощности при переключении. Это помогает достичь максимальной разгрузки и расширить зону покрытия маломощных БС за пределы их первоначального покрытия. Однако в этом контексте UE, находящиеся на границах соты в зоне покрытия БС меньшей мощности, подвергаются сильным помехам со стороны нисходящих передач макросот и сталкиваются с серьезными ICI, что приводит к снижению производительности UE.

Минимизация ICI для повышения производительности пользователей на границе соты является критически важной в одночастотной сети, поскольку координация между соседними БС всегда сложна в управлении. Техника межсотовой координации, такая как ICIC, была первоначально представлена как решение проблемы ICI в многосотовых сетях. Техника ICI может быть классифицирована как статическая координация, такая как ICIC, или динамическая координация, такая как улучшенная ICIC (eICIC).

При использовании метода ICIC модули MBS передают и получают информацию об управлении сетью, такую как мощность передачи, загрузка ячеек, уровень помех и информация о распределении ресурсов через высокоскоростные каналы связи (X2). Это помогает совместно координировать передаваемую мощность и распределение ресурсов для UE в центре и на краю соты. В то время как усовершенствованная версия ICIC, также известная как eICIC, была представлена 3GPP для минимизации сложных накладных расходов на координацию, возникающих при использовании стандарта ICIC. Схема eICIC требует минимальной координации между двумя сотами. Однако для максимального использования спектральных ресурсов в многосотовых сетях с временным разделением частот обычно развертывается одночастотная сеть. В сценарии eICIC многосотовая сеть может функционировать как односотовая, где доступна полная информация обратной связи. Другими словами, несколько БС могут совместно передавать и принимать статистику для достижения оптимальной производительности. В eICIC применяется техника, называемая почти пустым подкадром (ABS) (как показано на рис. 2), для подкадров нисходящей линии связи макросоты.

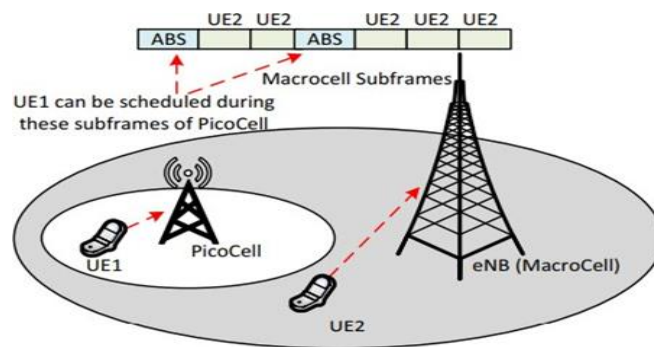


Рисунок 2. Техника почти пустых подкадров для HetNet.

Figure 2. Near-empty subframe technique for HetNet.

Данная техника помогает подавить помехи UE в зоне действия БС меньшей мощности, на которые накладывается MBS. Как следует из названия (ABS), MBS не передает никаких данных и управляющих сигналов в некоторых субкадрах, чтобы позволить БС меньшей мощности синхронизироваться с UE в этих субкадрах. Этот принцип может привести к потере некоторых ресурсов, однако он, несомненно, улучшает производительность БС меньшей мощности, и, таким образом, с точки зрения общесистемной оценки, общий достигнутый выигрыш увеличивается. Кроме того, дуплексирование с разделением по времени (TDD) - это хорошо известная техника синхронизации для следующего поколения гетерогенных многосотовых сетей 5G. Поскольку широко ожидается, что 5G будет работать в схеме с массивными антеннами MIMO. TDD помогает осуществлять дуплексирование для достижения оптимальной производительности системы.

Ниже рассматриваются некоторые из последних исследований, проведенных для уменьшения помех в сетях HetNets. Исследование, основанное на ICIC, использует метод мягкого повторного использования частоты для сотовой сети на основе ретрансляции. Результаты показывают, что предложенный подход обеспечивает лучшую производительность пользователей на границе соты при эффективном и справедливом распределении ресурсов между пользователями. Другая схема распределения ресурсов с использованием мягкого повторного использования частот представлена для ICIC в. Этот подход эффективно использует спектр для пользователей на краю ячеек, что помогает обеспечить более высокую пропускную способность как для восходящей, так и для нисходящей сети. Другая схема управления мощностью ICIC предложена в статье для сети восходящей линии связи. Она представляет собой метод

управления мощностью передачи на основе ICI, при котором эффект интерференции одинаков для метода дробного повторного использования частоты. Результаты показывают, что пропускная способность пользователей увеличивается по сравнению с обычным методом. Это также говорит о том, что в будущем необходимо исследовать более реалистичную модель трафика для достижения более высокой общей производительности пользователей. Предлагается методика распределения слотов с учетом помех для улучшения производительности пикосот/макросот. Это метод eICIC, основанный на ABS, который использует неиспользуемый спектр и обеспечивает лучшую спектральную эффективность по сравнению с существующим подходом с фиксированным соотношением ABS. Другая схема eICIC для неравномерно распределенных пользователей рассматривается в статье [11]. Авторы предложили алгоритм динамической балансировки нагрузки для распределения неоднородных пользователей между ячейками без дополнительных сигнальных сообщений. Полученные результаты дают лучшие показатели по пропускной способности и задержке пакетов по сравнению с традиционным подходом ICIC. Другая схема eICIC предложена для сети малых сот, которая координирует БС с помощью технологии горизонтального лучеобразования для сверхплотной среды высотных зданий. Авторы доказывают, что предложенная техника помогает увеличить пропускную способность, однако она требует высокоточного алгоритма прекодирования на основе кодовой книги на стороне антенны. Другой подход, использующий метод мягкого повторного использования частоты, рассматривается в статье [12]. В исследовании освещены некоторые из различных проблем, таких как соотношение мощности и нагрузка на трафик. Результаты показывают, что предложенный подход повышает производительность пользователя с точки зрения отношения сигнал-помеха-плюс-шум (SINR), коэффициента ошибок блока и пропускной способности.

В работе изучается схема координации помех, схема согласования помех для многоуровневых сетей HetNet, использующая полураспределенный алгоритм на основе ABS с ограниченными затратами на передачу сигналов. Результаты показали, что предложенный алгоритм улучшает суммарную пропускную способность при приемлемой справедливости среди пользователей. Также рассматривается совместное управление помехами и техника объединения ячеек для HetNet. Используется подход обучения с подкреплением, который фокусируется на технике помех во временной и частотной областях для увеличения достижимого выигрыша. Результаты показывают,

что предложенный подход обеспечивает лучшую производительность по сравнению с методами расширения диапазона фиксированных ячеек и фиксированной ABS. Однако эта техника ограничена для меньшего количества RB, что требует более сложного алгоритма для достижения более высокой пропускной способности. Другая схема eICIC для фемтосот в HetNet изучается в работе, которая основана на подавлении помех при воздействии на физические каналы управления спуском (PDCCH) путем заглушения двух символов ортогонального мультиплексирования с частотным разделением (OFDM).

Данный подход является обратно совместимым и может поддерживать системы дуплексного разделения частот (FDD) и TDD (LTE-A). Однако его производительность снижается на одном временном интервале, когда принимаются помехи от сигнала той же частоты. Исследована другая схема подавления помех в произвольном канале с замираниями, в которой оценивается SINR и получается функция генерации момента (MFG) для гетерогонических пуассоновских полей передатчика и помех. Результаты исследования доказывают, что статистика SINR обеспечивает лучшую производительность в терминах функции Миттага-Леффлера. Другой подход к подавлению помех для области с низким отношением сигнал/шум (SNR) предложен в статье [14]. В этом методе схема IA оптимизируется по взвешенной минимальной среднеквадратичной ошибке (W-MMSE). Результаты дают меньшее количество итераций и лучшую емкость даже в области низкого SNR, хотя и требуют большого количества информации о состоянии ядра (CSI) для предварительного кодирования сигналов передачи [11-15]. Следует упомянуть исследование, основанное на программно-определяемой сетевой (SDN) архитектуре для HetNet. При этом используются eICIC и CoMP для системы SDN/RAN, основанные на моделировании Монте-Карло.

Результаты, характеризующие пропускную способность, улучшены для пользователей на краю соты, однако для этого требуется более мощная и высокочастотная транзитная сеть. Отметим подход к развитию модели помех в восходящем канале связи для пользователей как макросот, так и малых сот. В данной модели помехи характеризуются как закрытой группой абонентов (CSG), так и открытой группой абонентов (OSG).

Результаты показали высокую вероятность успеха и лучшую среднюю скорость как экспериментально, так и при моделировании. Еще одно исследование предложено для перемещения малых сот в сетях HetNets. Моделирование проводилось с

использованием техники непрерывного подавления помех для мобильности малых сот. Результаты показали, что этот подход может помочь улучшить производительность пользователей на границе соты, а также общую производительность сети.

Из-за присутствия различных малых сот, таких как пико- и фемтосоты, HetNet страдает от проблемы повышенного ICI. Эти помехи можно устранить с помощью различных методов временного и частотного разделения.

Наиболее распространенной техникой является схема ICIC и eICIC, которая использует IA для минимизации объема трафика управления сетью и сотрудничества. Она позволяет передавать только информацию, связанную с состоянием канала, когда каждый конечный пользователь связан только с одной БС. Однако IA не всегда эффективна из-за временных вариаций и несовершенных условий канала. Чтобы использовать потенциал IA, целесообразно проектировать его с ограниченной обратной связью, но за счет ограниченного количества DoFs. Использование подхода ABS также является эффективным подходом, однако он требует более высокого значения CSI. Кроме того, необходимо провести ряд исследований для подходов FDD и TDD, которые помогут добиться лучших результатов даже при очень сильных помехах. Это очень важно, потому что следующее поколение гетерогенных многосотовых сетей 5G, как ожидается, будет работать в режиме TDD с использованием массивной антенной схемы MIMO для оптимальной производительности системы.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОМЕХ

Как уже говорилось, в последнее время было проведено достаточное количество работ, описанных выше, но до сих пор разрабатываются различные новые подходы для уменьшения помех. Исследователи и представители промышленных предприятий работают вместе с 3GPP, чтобы удовлетворить ожидаемые требования к будущим сетям. 3GPP недавно представил различные схемы и методы для смягчения помех, которые рассматриваются для развития будущих беспроводных сетей. Отметим некоторые из них.

- Беспроводная передача данных. Плотное развертывание малых сот над традиционными макросотами рассматривается как ключевая методология, позволяющая создать сверхплотные сети 5G. Были предложены различные решения для транзитной передачи данных, поскольку большее количество

узлов доступа создает дополнительные проблемы для развертывания и управления сетью. Использование беспроводной транзитной связи (когда требуется ограниченный диапазон связи) может быть полезным при использовании эффективного подхода к формированию луча для минимизации помех и повышения эффективности использования спектра.

- Идентификация БС. В высокоплотных сетях HetNets БС должна иметь возможность подключения к соседним БС, а также обеспечивать это всем пользователям, связанным с этими БС. Информация о мешающей БС очень важна для борьбы с ICI и принятия решений о переключении. Однако идентификация, передача и обнаружение мешающих БС в условиях воздушной интерференции является сложной задачей, но для ее решения могут быть использованы изменение мощности передачи, срабатывание БС и предварительный дизайн опорного сигнала.
- Расчет ранга. Понятие ранга определяет количество независимых передаваемых потоков, чтобы сбалансировать компромисс между множеством принимаемых сигналов на приемнике. Это помогает увеличить пространственный выигрыш и улучшить свойства помехоустойчивости. В последнее время 3GPP было предложено несколько эффективных методик, в которых основное внимание уделяется алгоритму ранговой координации между сотами с учетом помех для снижения вычислительной сложности. Также требуется алгоритм выбора ранга, который должен быть основан на мгновенном CSI для ковариационной матрицы интерференции (ICM).
- Проектирование приемника. Для эффективной борьбы с помехами 3GPP предложил технику подавления и отклонения помех на стороне пользователя, однако она ограничена одной приемной антенной. Деградация приема многолучевых помех является проблемой, которая может вызвать значительное ослабление сигнала в сети 5G. 3GPP заявила, что для эталонного приемника можно использовать приемник с подавлением помех на уровне кодового слова (CW- IC) для внутрисотовых межпользовательских помех. Более того, для многосотового сценария, как для базового, так и для эталонного приемников, очень полезно подавление межсотовых помех с помощью методологии Minimum Mean Square Error -

Inter-ference Rejection Combining (MMSE-IRC).

- **Опорный сигнал.** Разработка опорного сигнала является одной из важнейших задач, поскольку при передаче сигнала канал распространения непрерывен и непредсказуем. Он может помочь отличить БС информационного сигнала от БС сигнала помехи. Для будущей сети 5G 3GPP предложила отказаться от специального опорного сигнала, однако был введен новый опорный сигнал (названный опорным сигналом демодуляции) как для нисходящего, так и для восходящего каналов с временной/частотной разверткой.
- **Поиск соседней ячейки помех.** При TDD-связи в высокоплотных сетях HetNet влияние смежных и удаленных помех является важной задачей, поскольку сигнал от различных БС может быть дифференцирован только в отношении временного окна принимаемого сигнала. Поэтому 3GPP предложил, чтобы при применении техники подавления интерференции учитывался также эффект помех от удаленных БС из-за влияния тропосферного изгиба в канале передачи.
- **Идентификация каналов управления.** Идентификация каналов сигнализации и управления необходима для управления механизмами с целью экономии ограниченных ресурсов. Изоляция между общим каналом управления (CCN) и выделенным каналом управления (DCC) имеет решающее значение для снижения вероятности пропусков обнаружения информационных и интерференционных сигналов. Предложенная 3GPP методика показывает, что для достижения оптимальной производительности заданное измерение канала управления должно оставаться ниже заданного порогового значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что в будущих беспроводных сетях 5G количество пользователей будет экспоненциально расти, что сделает сеть связи сверхплотной. Возникают различные проблемы, связанные с сильными помехами, такие как ICI (вызванные сигналами, поступающими из соседних секторов одной соты) и CCI (возникающие из-за повторного использования одной и той же частоты в соседних сотах). Кроме того,

включение D2D-коммуникаций в сотовые сети позволит увеличить пропускную способность, однако при этом придется бороться с многочисленными помехами, особенно в сверхплотных сетях. В данной статье мы рассмотрели ряд схем управления помехами для сложных и высокодинамичных беспроводных сетей. В частности, упоминается, что помехи в высокоплотных сетях HetNets могут быть уменьшены с помощью статических или динамических методов подавления помех наряду с эффективными схемами распределения ресурсов. Потенциальные решения по снижению помех для сетей HetNets и D2D были критически рассмотрены с акцентом на их методологии, преимуществах и ограничениях, а также при дальнейших работах. Кроме того, были рассмотрены задачи будущих исследований и некоторые из предложенных 3GPP схем смягчения помех. Как уже говорилось, эти схемы динамического подавления помех можно считать эволюционным шагом на пути к сетям 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Перов С.Ю., Белая О.В. Инструментальный контроль электромагнитных полей от базовых станций сотовой связи пятого поколения. Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции. 19–20 апреля 2021. Обнинск; 2021: 434-436.

[2] Кудряшов А.Б., Чемарев Д.В. Технологии стандарта мобильной связи пятого поколения (5G). Актуальные проблемы науки и практики: Сборник научных трудов. 24–26 июня 2021. Хабаровск; 2021: 36-40.

[3] Кокорева Е.В. Сравнительная характеристика систем мобильной связи четвертого и пятого поколения. Экономика и качество систем связи. 2022; 3(25): 37-45.

[4] Волков А.С., Лазарев А.В. Исследование методов декодирования полярных кодов для систем мобильной связи пятого поколения. Телекоммуникационные устройства и системы. 2018; 8(2): 82-86.

[5] Семашко А.В., Абакшин А.Д. Повышение достоверности мобильной цифровой связи в сетях пятого и шестого поколения. Экономика и качество систем связи. 2023; 4(30): 76-85.

[6] Нуриев С.А., Карцан И.Н. Защищенность речевой информации в научных организациях от утечки по техническим каналам. Современные инновации, системы и технологии. 2023; 3(4): 349-362. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0349-0362>

- [7] Нуриев С.А., Карцан И.Н. Организация оперативного получения и передачи информации в импортозамещающей системе морского исследования. Моря России: от теории к практике океанологических исследований: тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 25–29 сентября 2023. Севастополь; 2023: 287-289.
- [8] Лунев Е.Г., Иванов В.А., Кириченко А.Г., Лемешко Е.М., Мотыжев С.В. Дрифтерная измерительно-информационная система для мониторинга течений в прибрежной зоне моря. Морской гидрофизический журнал. 2010; 5: 52-64.
- [9] Нуриев С.А., Карцан И.Н. Совершенствование цифровых каналов связи. Защита информации. Инсайд. 2023; 5(113): 5-9.
- [10] Леонтьев С.М. 5G и будущее связи: влияние пятого поколения мобильных сетей на бизнес и общество. Вестник магистратуры. 2023; 7(142): 99.
- [11] Бегишев В.О., Сопин Э.С., Молчанов Д.А., Самуйлов А.К., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е. Оценка эффективности механизма резервирования полосы пропускания для технологии mmWave в сетях связи пятого поколения. Информационно-управляющие системы. 2019; 5(102): 51-63. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-51-63>
- [12] Князев А.А., Чуев А.А., Кондратьев А.Н. Особенности построения сетей сотовой связи пятого поколения. Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: Сборник научных статей по материалам V Всероссийской научно-практической конференции. 15–16 апреля 2021. Курск; 2021: 165-168.
- [13] Нуриев С.А., Карцан И.Н. Разработка системы физической защиты информации для центра морских исследований. Современные инновации, системы и технологии. 2023; 3(3): 212-224. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0212-0224>
- [14] Махьюб Х.Е.А. Кисель Н.Н., Грищенко С.Г. Повышение спектральной эффективности канала в беспроводных системах связи пятого поколения на основе системы массив-MiMO. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015; 11(172): 63-72.
- [15] Иванова Т.Н., Пакаева А.Н. Характеристика Интернета как сети связи пятого поколения: риски и возможности. Молодежь, устремленная в будущее: проблемы, интересы, перспективы: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции. 29–30 октября 2018. Ульяновск; 2018: 40-46.

REFERENCES

- [1] Perov S.Yu., Belaya O.V. Instrumental'nyj kontrol' elektromagnitnyh polej ot bazovyh stancij sotovoj svyazi pyatogo pokoleniya. Tekhnogennye sistemy i ekologicheskij risk: Tezisy dokladov IV Mezhdunarodnoj (XVII Regional'noj) nauchnoj konferencii. 19–20 aprelya 2021. Obninsk; 2021: 434-436.
- [2] Kudryashov A.B., Chemarev D.V. Tekhnologii standarta mobil'noj svyazi pyatogo pokoleniya (5G). Aktual'nye problemy nauki i praktiki: Sbornik nauchnyh trudov. 24–26 iyunya 2021. Habarovsk; 2021: 36-40.
- [3] Kokoreva E.V. Sravnitel'naya harakteristika sistem mobil'noj svyazi chetvertogo i pyatogo pokoleniya. Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2022; 3(25): 37-45.
- [4] Volkov A.S., Lazarev A.V. Issledovanie metodov dekodirovaniya polyarnyh kodov dlya sistem mobil'noj svyazi pyatogo pokoleniya. Telekommunikacionnye ustrojstva i sistemy. 2018; 8(2): 82-86.
- [5] Semashko A.V., Abakshin A.D. Povyshenie dostovernosti mobil'noj cifrovoj svyazi v setyah pyatogo i shestogo pokoleniya. Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2023; 4(30): 76-85.
- [6] Nuriev S.A., Karcan I.N. Zashchishchennost' recevoj informacii v nauchnyh organizacijah ot utehki po tekhnicheskim kanalarn. Sovremennye innovacii, sistemy i tekhnologii. 2023; 3(4): 349-362. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0349-0362>
- [7] Nuriev S.A., Karcan I.N. Organizaciya operativnogo polucheniya i peredachi informacii v importozameshchayushchej sisteme morskogo issledovaniya. Morya Rossii: ot teorii k praktike okeanologicheskikh issledovanij: tezisy dokladov Vserossijskoj nauchnoj konferencii. 25–29 sentyabrya 2023. Sevastopol'; 2023: 287-289.
- [8] Lunev E.G., Ivanov V.A., Kirichenko A.G., Lemeshko E.M., Motyzhev S.V. Drifternaya izmeritel'no-informacionnaya sistema dlya monitoringa techenij v pribrezhnoj zone morya. Morskoj gidrofizicheskij zhurnal. 2010; 5: 52-64.
- [9] Nuriev S.A., Karcan I.N. Sovershenstvovanie cifrovych kanalov svyazi. Zashchita informacii. Insajd. 2023; 5(113): 5-9.
- [10] Leont'ev S.M. 5G i budushchee svyazi: vliyanie pyatogo pokoleniya mobil'nyh setej na biznes i obshchestvo. Vestnik magistratury. 2023; 7(142): 99.
- [11] Begishev V.O., Sopin E.S., Molchanov D.A., Samujlov A.K., Gajdamaka YU.V., Samujlov K.E. Ocenka effektivnosti mekhanizma rezervirovaniya polosy propuskaniya

dlya tekhnologii mmWave v setyah svyazi pyatogo pokoleniya. Informacionno-upravlyayushchie sistemy. 2019; 5(102): 51-63. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-5-51-63>

[12] Knyazev A.A., Chuev A.A., Kondrat'ev A.N. Osobennosti postroeniya setej sotovoj svyazi pyatogo pokoleniya. Infokommunikacii i kosmicheskie tekhnologii: sostoyanie, problemy i puti resheniya: Sbornik nauchnyh statej po materialam V Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 15–16 aprelya 2021. Kursk; 2021: 165-168.

[13] Nuriev S.A., Karcan I.N. Razrabotka sistemy fizicheskoy zashchity informacii dlya centra morskikh issledovanij. Sovremennye innovacii, sistemy i tekhnologii. 2023; 3(3): 212-224. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0212-0224>

[14] Mah'yub H.E.A. Kisel' N.N., Grishchenko S.G. Povyshenie spektral'noj effektivnosti kanala v besprovodnyh sistemah svyazi pyatogo pokoleniya na osnove sistemy massiv-MiMO. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2015; 11(172): 63-72.

[15] Ivanova T.N., Pakaeva A.N. Harakteristika Interneta kak seti svyazi pyatogo pokoleniya: riski i vozmozhnosti. Molodezh', ustremlennaya v budushchee: problemy, interesy, perspektivy: Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii. 29–30 oktyabrya 2018. Ul'yanovsk; 2018: 40-46.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Нуриев Сури Айкович, старший инженер
Морского гидрофизического института РАН,
Севастополь, Россия
ORCID: 0009-0008-1760-8844

Suri Nuriev, Senior Engineer, Marine
Hydrophysical Institute, Russian Academy of
Sciences, Sevastopol, Russia

Карцан Игорь Николаевич, доктор
технических наук, доцент, ведущий научный
сотрудник Морского гидрофизического
института РАН, Севастополь, Россия
ORCID: 0000-0003-1833-4036

Igor Kartsan, Dr. Sc., Docent, Leading
Researcher, Marine Hydrophysical Institute,
Russian Academy of Sciences, Sevastopol,
Russia

Статья поступила в редакцию 16.01.2024; одобрена после рецензирования 21.02.2024; принята к публикации 22.02.2024.

The article was submitted 16.01.2024; approved after reviewing 21.02.2024; accepted for publication 22.02.2024.