

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.396.94

DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Повышение эффективности использования метеорного канала связи на основе предварительной оценки его характеристик

¹ Белов С.П., ² Орехов А.О.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Аннотация. В статье предложен способ увеличения объема информации, переданного с использованием каналов метеорной связи, позволяющий увеличить коэффициент использования канала. Применение предварительной оценки образованного канала метеорной связи возможно благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа. Использование вычислений на передающей стороне, основанных на понимании характеристик образованных каналов на метеорных вспышках, позволяет за счет применения многопозиционной модуляции своевременно увеличить начальный объем передаваемых данных в момент, когда электронная плотность канала близка к максимальной. Результаты проведенных симуляций подтвердили целесообразность использования предварительной оценки характеристик канала связи для средних и больших размеров кадра. Актуальность данного исследования определена развитием реализации удаленного взаимодействия между абонентами, в том числе и в арктических широтах, с использованием метеорной связи.

Ключевые слова: инфокоммуникационная система метеорной связи, многопозиционная модуляция, коэффициент использования метеорного канала, предварительная оценка канала связи

Для цитирования: Белов С.П., Орехов А.О. 2025. Повышение эффективности использования метеорного канала связи на основе предварительной оценки его характеристик. *Экономика. Информатика*, 52(1): 203–214. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Improving the Efficiency of Meteor Burst Communication Channel Utilization Based on Initial Evaluation of Its Properties

¹ Sergey P. Belov, ² Andrey O. Orekhov

¹ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law
116a Sadovaya St, Belgorod 308023, Russia,

² Belgorod State National Research University
85 Pobedy St, Belgorod 308015, Russia
belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Abstract. The paper proposes a method to increase the volume of information transmitted using meteor communication channels, allowing to increase the channel utilization factor. The use of pre-evaluation of the created meteor communication channel is possible due to the omni-directional character of radio wave transmission from the meteor trail. The use of computing on the transmitting side based on the

© Белов С.П., Орехов А.О., 2025



understanding of the characteristics of the formed channels on meteor bursts allows increasing the initial volume of transmitted data at a time when the electronic density of the channel is close to the maximum. This is achieved through the use of multi-position modulation. The results of the simulations confirmed the feasibility of pre-evaluation of the communication channel characteristics for medium and large frame sizes. The relevance of this study is determined by the progress of remote interaction between subscribers, including those in the Arctic latitudes, using meteor-burst communication.

Keywords: meteor-burst communication system, multi-position modulation, meteor channel utilization factor, preliminary channel estimation

For citation: Belov S.P., Orekhov A.O. 2025. Improving the Efficiency of Meteor Burst Communication Channel Utilization Based on Initial Evaluation of Its Properties. *Economics. Information technologies*, 52(1): 203–214. DOI 10.52575/2687-0932-2025-52-1-203-214

Введение

В настоящее время имеют актуальность проблемы устойчивой связи в арктических широтах. Согласно Единому плану мероприятий по реализации основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года и Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года существует потребность в современных системах связи для указанных зон. Метеорная радиосвязь, применяемая в арктических широтах, обладает рядом преимуществ по сравнению с другими видами радиосвязи. Метеорные каналы связи обеспечивают обмен данными на довольно существенных расстояниях [Метеорная связь..., 1961; Бабаджанов, 1987; Карпов и др., 2008; Белькович, 2008], благодаря тому что в канале связи присутствует довольно низкий уровень шума и наблюдается незначительная зависимость характеристик среды передачи от возмущений ионосферы, применяются радиопередатчики относительно малой мощности для получения устойчивого канала связи. Эти особенности и образуют основные преимущества предложенного вида связи. Учитывая вышесказанное, наряду с другими видами связи, метеорная связь является базовым видом связи для приполярных областей, а также в непредсказуемых ситуациях может оказаться единственным способом связи, восстановленным за короткий срок.

Увеличение коэффициента использования метеорного канала связи является актуальной задачей, так как основную неопределенность представляет вероятностный характер моментов возникновения метеорных следов [Капралов, Кирик, 2018], подходящих для организации канала связи, и сложно прогнозируемая длительность существования ионизированного облака. Для решения этой задачи предлагается использовать предварительную оценку образованного канала связи на передающей стороне, проведение которой возможно благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа. Основываясь на результатах предварительной оценки, можно выбрать и применить для передачи подходящий способ многопозиционной модуляции и сократить временные затраты на принятие такого решения.

Метеорный канал связи. Оценка его характеристик

Эффективность использования канала метеорной связи напрямую зависит от выбора протоколов передачи и их особенностей. Поиск оптимальных параметров протокола передачи, особенно в случае метеорной связи, является трудоемкой задачей, сопряженной со значительными вычислительными и временными затратами. Так как максимальная электронная плотность существует в момент возникновения канала связи и со временем затухает, вопрос передачи большего количества информации в начальный момент является актуальным. [Theory of Meteor Reflection. Электронный ресурс] В работе предлагается оценить характеристики канала в момент возникновения на передающей стороне и подобрать настройки модуляции с учетом теоремы Шеннона

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (1)$$

где C – количество информации, B – ширина полосы пропускания, S – уровень сигнала, N – уровень шума. Мощность приёмника $P_R(t)$ после рассеяния на ненасыщенных трассах на частотах, используемых на практике:

$$P_R(t) = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma a_1 a_2(t) a_2(t_0) a_3}{64 \pi^3 R_1^2 R_2^2}, \quad (2)$$

где λ – длина волны, σ – площадь метеорного следа, a_1 – коэффициент потерь из-за конечного начального радиуса следа, a_2 – коэффициент потерь из-за диффузии следа, a_3 – коэффициент потерь из-за ионосферного поглощения, T – время в секундах, измеренное от момента полного формирования первой зоны Френеля, t_0 – половина времени, необходимого метеору для прохождения первой зоны Френеля, P_T – мощность передатчика, P_R – чувствительность приемника, G_T – усиление передающей антенны относительно изотропной антенны в свободном пространстве, G_R – усиление приемной антенны относительно изотропной антенны в свободном пространстве, (предполагается отсутствие потерь в тракте питателя), R_1, R_2 – расстояния между антеннами и метеорным следом

$$a_2(t) = A_0 \times \exp \frac{-t}{\tau}, \quad (3)$$

где T – время, прошедшее с момента образования следа, A_0 – амплитуда сигнала в момент $t = 0$ (максимум), τ – характерное время затухания.

Подставив (2) в (1), учитывая экспоненциальное затухание со временем (3), можно определить, что наибольшее количество информации можно передать через метеорный канал в начальный момент времени. [Crook, Sytsma, 1989] Учитывая принцип работы действующих систем, когда базовая станция в полудуплексном режиме постоянно отправляет несколько кадров и ожидает обратную связь от приемника, и только после получения ответа от приемника оценивает параметры канала, предлагается иной подход к определению параметров канала метеорной связи. Благодаря физической особенности данного канала отражать радиоволну в том числе и в сторону передатчика, практически сразу после возникновения канала связи на стороне передатчика существует возможность оценить параметры канала и подобрать оптимальную сигнально-кодую конструкцию с точки зрения максимизации количества передаваемой информации с учетом требований достоверности приема.

Определить появление ненасыщенного метеорного следа можно по нескольким значениям отсчетов, полученным на передающей стороне, в общем случае удовлетворяющим упрощенной теоретической модели метеорного канала:

$$a_2(t_n) = m a_2(t_{n-1}) \times \exp^{-t_n/\tau}, \quad (4)$$

где m – некоторый пороговый коэффициент, вычисляемый для каждой конкретной системы метеорной связи. Применив формулу (3), можно оценить величину τ для конкретного метеорного следа по двум измеренным спустя определенный интервал времени значениям $a_2(t)$ и $a_2(t_n)$.

Протокол передачи данных в метеорном канале связи

В зависимости от установленного режима работы в системе связи между удаленными узлами, участвующими в обмене информацией, необходимо наличие канала связи выбранного типа. [Машкова, Завьялов, 2020] Наиболее простой в реализации – вещательный протокол передачи данных, в котором отправка сообщений производится непрерывно от передатчика к получателям. В таком протоколе факт образования канала связи не

регистрируется и отсутствует обратная связь, что не позволяет подтвердить передачу данных. [Максимова и др., 2020] Рассмотрим более подходящий протокол связи – полудуплексный. В таком режиме узлы системы связи выполняют задачи как отправки, так и приема информации, но не имеют возможности одновременно решать эти задачи. В выбранный момент времени узлы, участвующие в обмене информацией, способны ее транслировать только в одном направлении. Из этого вытекает основной недостаток такого протокола – наличие временных затрат на изменение режима работы узлов связи с одного направления передачи на обратное. Принимая во внимание недостаток, данный протокол обмена данными успешно решает задачу контроля получения данных, при этом используется вся выделенная полоса пропускания канала, что в условиях использования метеорного канала связи является преимуществом. На рис. 1 приведена блок-схема использованной модели метеорной системы связи, использованной для симуляций. В примере базовая (БС) и абонентская (АС) станции являются узлами систем связи.

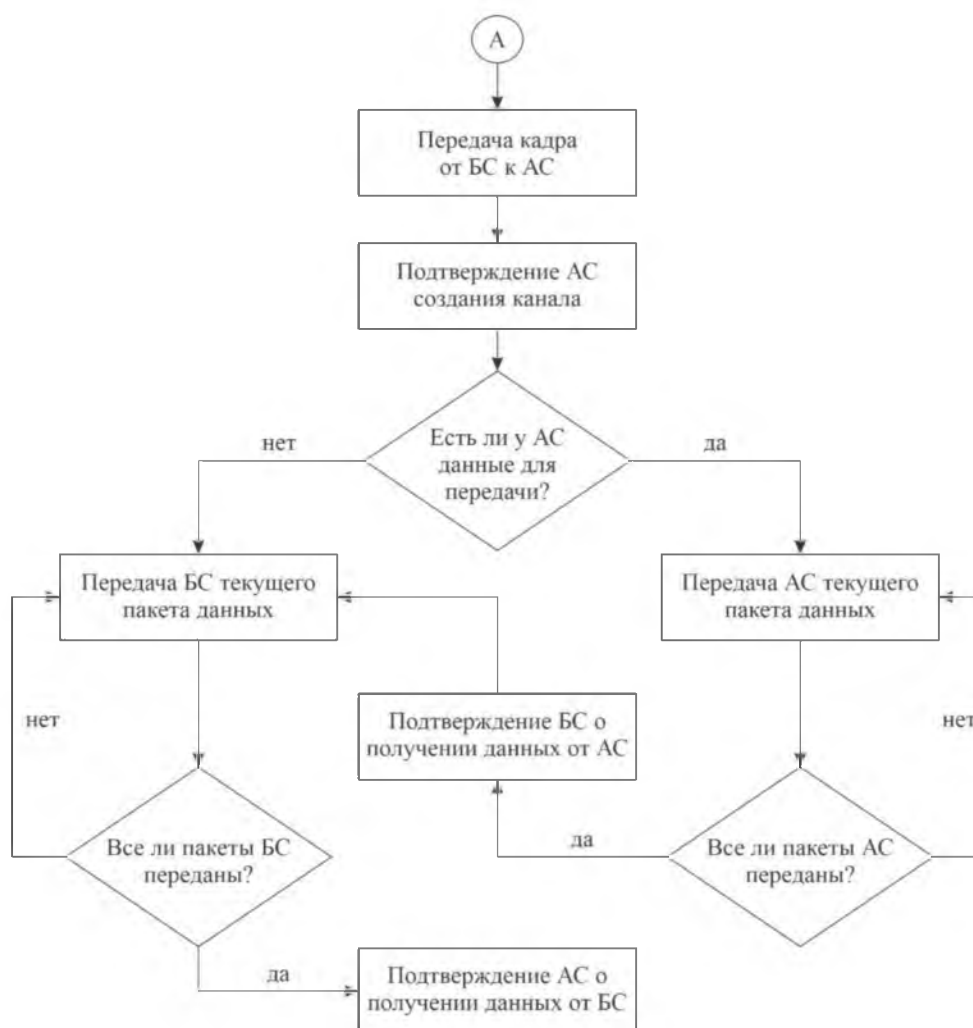


Рис. 1. Блок-схема полудуплексного протокола связи
 Fig. 1. Block diagram of half-duplex communication protocol

Следует отметить, что на практике же в метеорных системах связи вместо передачи зондирующего сигнала в канал сразу передаются кадры, несущие информацию, для того чтобы максимизировать время использования метеорного следа. При достаточно большой длительности кадра (для стандартного значения Ethernet MTU 1500 Байт при скорости передачи 5000 бит/с длительность составит примерно 2,5 секунды) времени существования метеорного следа может быть недостаточно для передачи данных. Канал для передачи также может возникнуть не синхронно с началом кадра, так заголовок фрейма с

синхроимпульсом (для OFDM) могут оказаться переданными до возникновения канала, при этом теряется весь кадр. В радиосвязи используется меньшее значение размера кадра, чем в проводных сетях, при этом возникают сложности на стыке двух систем, а также снижается коэффициент передачи информации. Для увеличения коэффициента использования канала предлагается использовать зондирующий сигнал, принимаемый на стороне передатчика (БС). На рис. 2 отражена часть блок-схемы для реализации данной задачи, стыкуемая в точке А с блок-схемой полудуплексного протокола связи.



Рис. 2. Блок-схема использования зондирующего сигнала, принимаемого на передающей стороне
Fig. 2. Block diagram of using the probing signal received at the transmitting side

Параметры симуляции

Моделирование процессов передачи данных по каналам метеорной связи, а также подсчет вероятного количества ошибок производились в среде MATLAB. Для определения преимуществ и возможности повышения эффективности использования метеорного канала на основе предварительной оценки его характеристик можно зафиксировать некоторые параметры модели канала. Для проведения сравнительной оценки способов передачи определим высоту возникновения следа и установим ее в 90 км (рис. 3, 4), мощность передатчика примем из существующих портативных систем (рис. 5), например, BLOSSOM – 650 Вт. Расстояние передачи в контексте проводимого исследования зафиксируем 1200 км. [Melville, Fraser, 1993] Базовая скорость передачи 2,4 Кбод/сек. Для использования в модели канала метеорной связи выберем мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Ширина полосы пропускания с защитными интервалами 35 МГц выровнена и находится в интервале от 52,5 до 87,5 МГц. Виды многопозиционной модуляции – BPSK, QPSK. [Белокопытов, 2015] Более емкие виды модуляции не могут обеспечить достаточное соотношение сигнал/шум в заданных условиях (рис. 6). Размеры кадров заданы 280, 140, 70, 35 и 24 бод. [Першин, 2013] Задержка в 0,03 секунды введена как время для оценки параметров канала связи и переключения оборудования в режим передачи. Значение получено из описания популярного SDR приемопередатчика (RTL-SDR V3 PRO) и может быть уменьшено за счет применения более узконаправленного оборудования. Пороговое значение, при котором кадр считался принятым с вероятностью ошибки в одном бите (BER), $1e10^5$. [Благов, Волвенко, 2010]

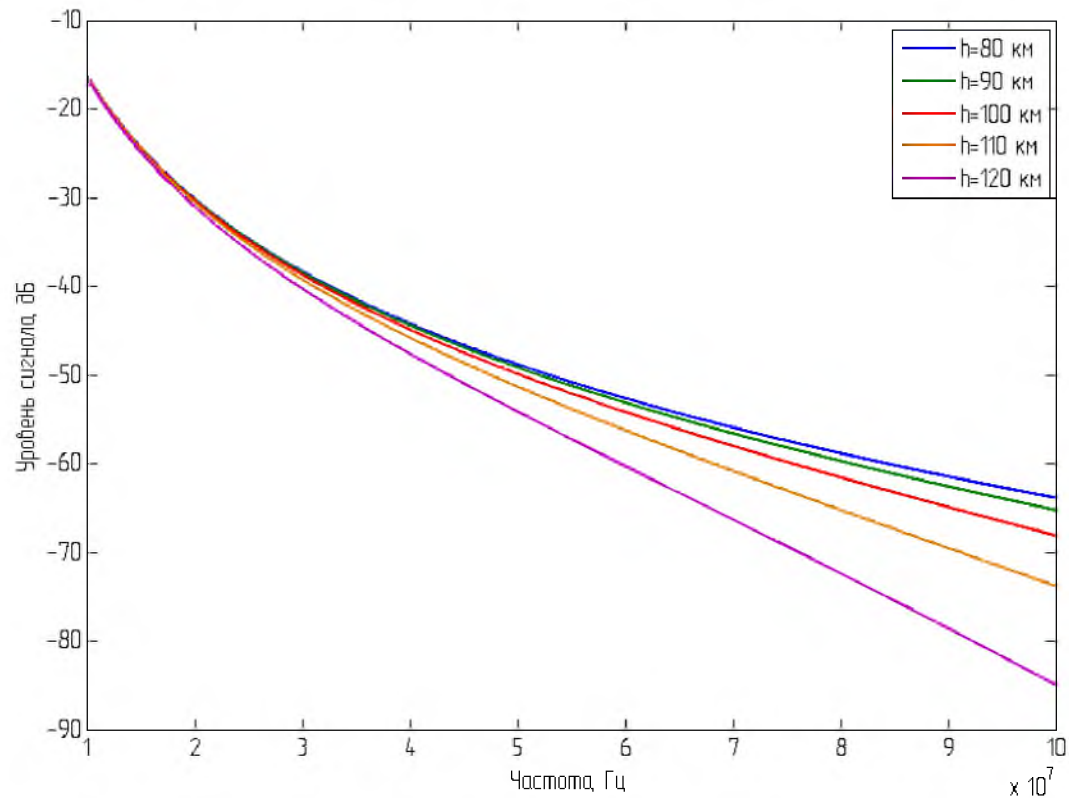


Рис. 3. АЧХ метеорного канала связи в зависимости от высоты образования следа
Fig. 3. AFC of the meteor communication channel as a function of the height of trail formation

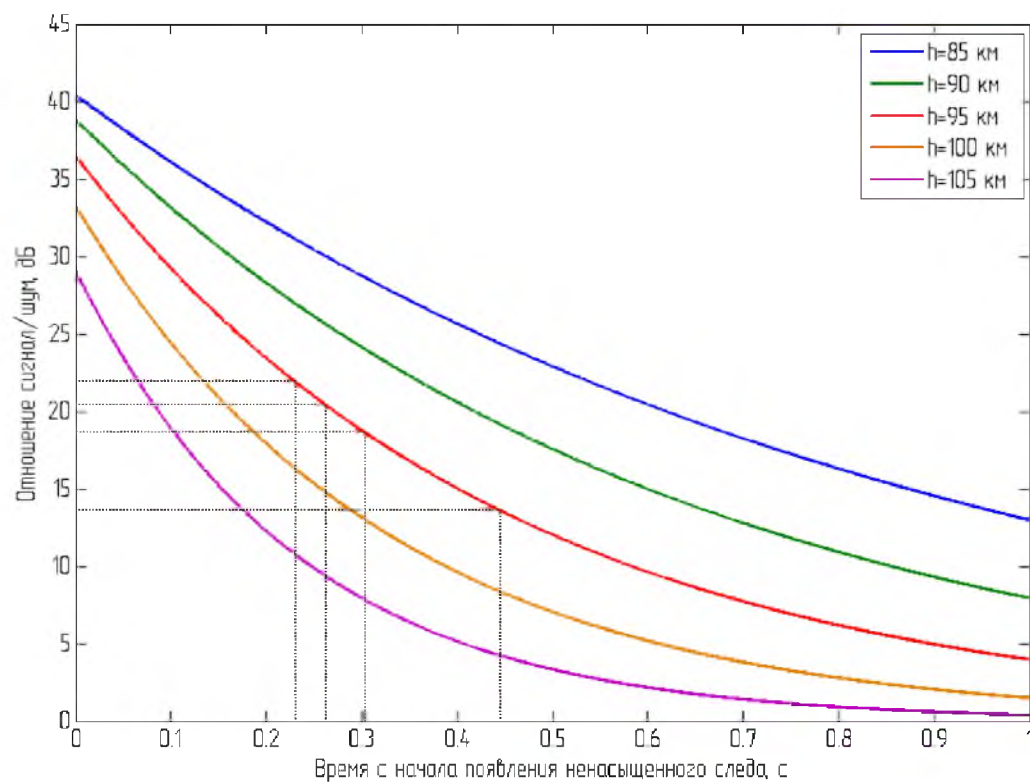


Рис. 4. Отношение сигнал/шум в зависимости от времени с начала появления следа
Fig. 4. Signal-to-noise ratio as a function of time from the beginning of the trail occurrence

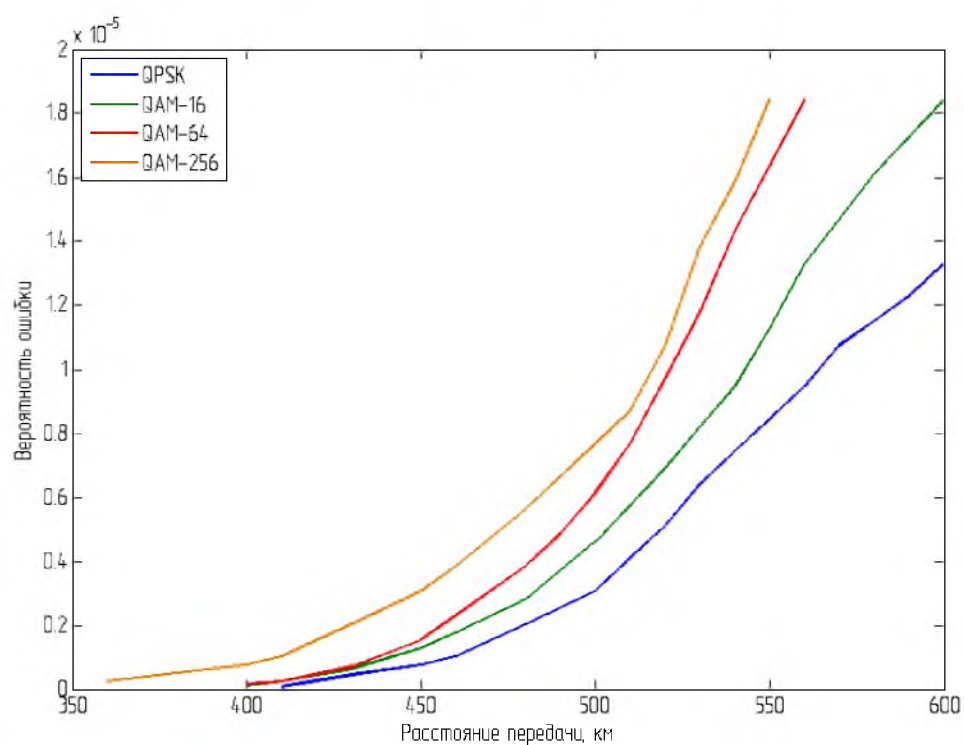


Рис. 5. Вероятность возникновения ошибки от дальности метеорной линии при мощности передатчика 300 Вт, коэффициент усиления антенн – 13 дБ

Fig. 5. Dependence of error probability on communication range at transmitter power of 300 W, antenna gain – 13 dB

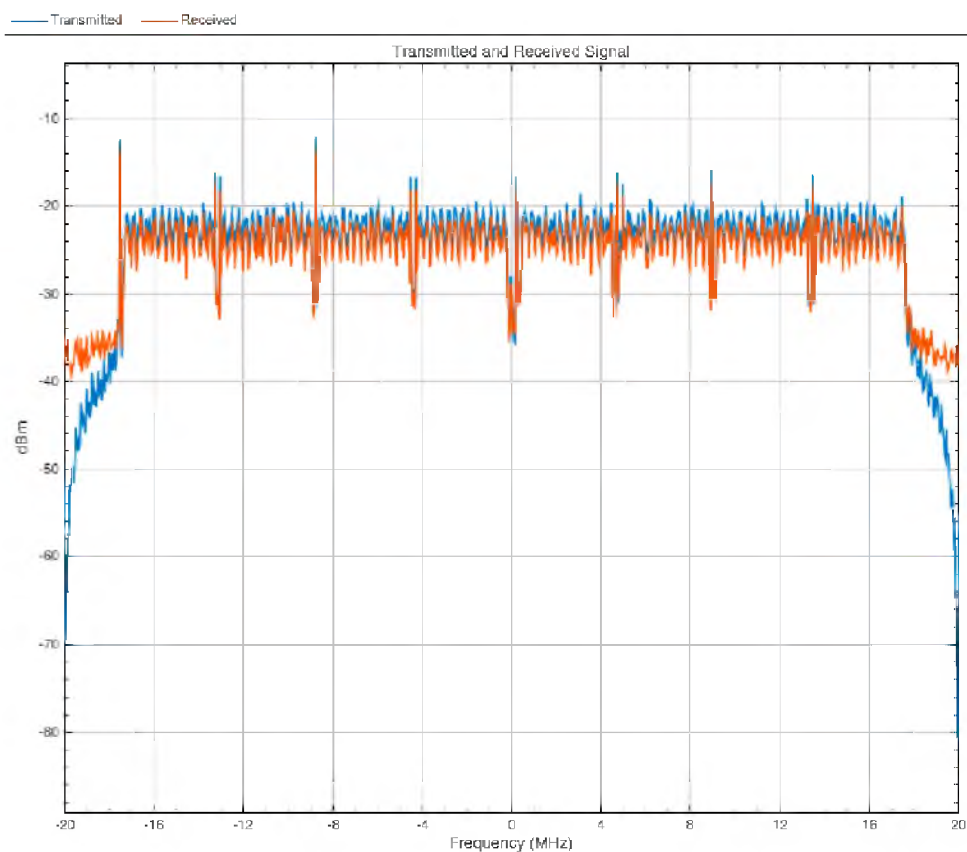


Рис. 6. Спектры переданного и полученного сигналов

Fig. 6. Transmitted and received signal spectra



Результаты проведения симуляций

Для каждого вида многопозиционной модуляции и для каждого размера кадра была проведена одна тысяча симуляций и получены данные, которые внесены в табл. 1. Следует отметить, как правило, после применения предварительной оценки вероятного уровня сигнала в канале становилось доступным применение многопозиционной модуляции с большим уровнем кодирования как минимум для первого фрейма, что позволяет увеличить коэффициент использования канала. Результаты симуляций показывают, что при длине кадра 70 бод и более целесообразно использовать метод предварительной оценки канала связи (рис. 7). Увеличение коэффициента использования канала при высоких длинах кадра может достигать 20 %.

Таблица 1

Table 1

Оценка количества полученных бит за время существования метеорного следа
 с применением предварительной оценки и без нее

Estimation of the received bits counts per meteor burst lifetime with and without applying
 a pre-estimate

	Символов / кадр	Кадров / след	бит/след синхронизация без потерь	бит/след с потерей первого пакета	Потери полудуплекс	Кадров/след с задержкой 0,03с	Предв. оценка канала бит/след	Предв. оценка канала потери
BPSK	280	4,46	1230,17	954,2	22,4%	4,23	1154,48	6,2%
	140	8,91	1212,34	1076,3	11,2%	8,50	1143	5,7%
	70	17,83	1176,68	1110,7	5,6%	17,10	1115,6	5,2%
	35	35,66	1105,37	1074,4	2,8%	33,60	1028,6	6,9%
	24	52,00	1040	1020,0	1,9%	49,00	7	7,0%
QPSK	280	4,46	2460,34	1920,3	21,9%	4,37	2399,24	2,5%
	140	8,91	2424,686	2151	11,3%	8,70	2353,4	2,9%
	70	17,83	2353,37	2220,9	5,6%	17,10	2244,2	4,6%
	35	35,66	2210,74	2146,2	2,9%	34,60	2132,2	3,6%
	24	52,00	2080	2043	1,8%	50,20	1995	4,1%

Заключение

Метеорная радиосвязь является перспективным видом связи на дальнее расстояние, в том числе и в недоступных регионах, особенно в северных широтах. Решение задачи увеличения плотности информации при передаче через метеорные каналы является актуальным. Результаты исследования подтверждают возможность и актуальность использования предварительной оценки образованного канала связи на передающей стороне, которая позволяет увеличить коэффициент использования метеорной связи. Такой подход позволяет компенсировать неточность в определении момента возникновения канала, вызванную вероятностным характером метеорной вспышки. Предварительная оценка параметров канала с высокой достоверностью позволяет определить оптимальный вид многопозиционной модуляции и сократить временные затраты на принятие такого решения. Такой подход, благодаря всенаправленному характеру распространения радиоволн от метеорного следа, может быть использован и для предварительной оценки частотных характеристик вероятного канала связи, что позволит сократить защитные интервалы в OFDM, тем самым еще увеличить коэффициент использования канала. Учитывая высокую чувствительность сигналов OFDM к эффекту Доплера, описанный способ является перспективным для применения в подстройке частоты на передающем узле в подвижных системах метеорной радиосвязи.

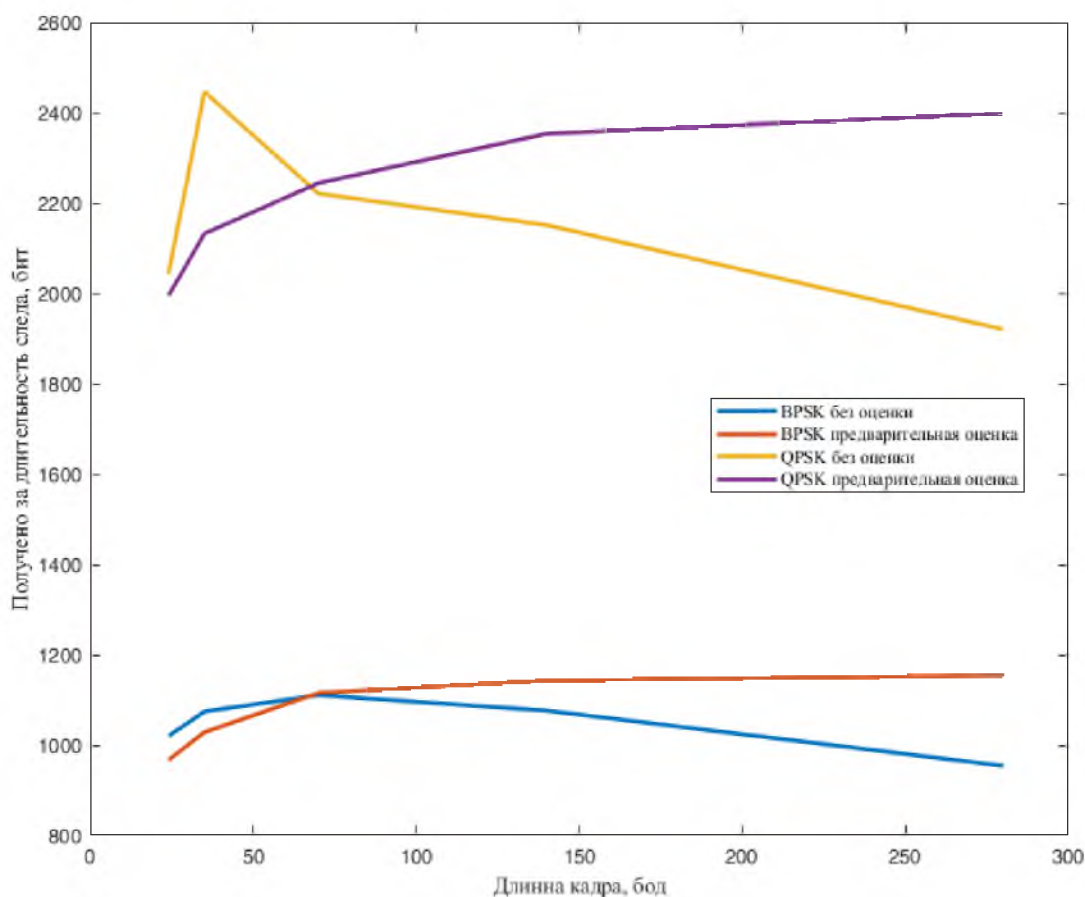


Рис. 7. Количество полученных бит за время существования метеорного следа с применением предварительной оценки и без нее

Fig. 7. Number of received bits for the meteor trail lifetime with and without the application of preliminary estimation

Список источников

- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2035 года [Электронный ресурс]. URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/arkticzone/ (дата обращения 09.01.2025).
- Theory of Meteor Reflection. The International Meteor Organization (IMO) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/reflection/> (дата обращения 09.01.2025).

Список литературы

- Бабаджанов П.Б. 1987. Метеоры и их наблюдение. М.: Наука. 176 с.
- Белокопытов А.Е. 2015. Выбор эффективного вида цифровой модуляции в системах радиосвязи по критериям эффективности. *Научный альманах*, 11-3(13): 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035
- Белькович О.И. 2008. Метеорное распространение радиоволн. Справ. пособие. Зеленодольск. 48 с.
- Благов Д.С., Волвенко С.В. 2010. Повышение скорости передачи информации в метеорных системах связи путем использования сигналов переменной длительности. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*, 5(108): 7–13.
- Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. 1986. Теория передачи сигналов. Изд. 2, перераб. и дополн. Москва: Радио и связь. 304 с.



- Капралов Д.Д., Кирик Д.И. 2018. Стохастическая модель метеорного радиоканала. *Труды учебных заведений связи*, 4(3): 54–64. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64
- Карпов А.В., Сидоров В.В., Сулимов А.И. 2008. Метеорная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи. *Информационные технологии и вычислительные системы*, 3: 45–54
- Качнов А.И., Пенкин А.А., Рыбаков А.В. 2016. Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, Россия, 10–11 марта 2016). Сборник научных статей. СПб.: СПбГУТ. 177–181.
- Максимова Е.И., Лавренюк И.И., Волвенко С.В. 2020. Уменьшение времени доставки сообщения для вещательного протокола метеорной системы радиосвязи за счёт совершенствования схем модуляции. Сборник докладов 75-й научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова. 116–118.
- Машкова Е.Д., Завьялов С.В. 2020. Оценка времени доставки сообщений в метеорном канале радиосвязи при использовании полудуплексного протокола. Сборник докладов 75-й научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова. 123–126.
- Метеорная связь на ультракоротких волнах. 1961. Сборник статей. под ред. А.Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. литературы. 287 с.
- Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2019. Основные направления развития метеорной связи. *Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли*, 11(4): 30–47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277
- Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2016. Территориально распределенный стенд ПАО «Интелтех» и новые возможности проведения НИР и ОКР по созданию перспективных комплексов связи. *Морская радиоэлектроника*, 3: 50–55.
- Першин А.С. 2013. Методы пространственной фильтрации помех. *Доклады ТУСУРа*, 3(29): 43–46.
- Рябов И.В., Толмачев С.В., Лебедева А.А. 2016. Аппаратно-программный комплекс для обнаружения метеорных следов с изменяемой полосой пропускания. *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*, 4(24): 66–75.
- Титков С.Б. 2006. Технические предложения по использованию метеорной связи. *Защита информации. Инсайды*. 3: 74–80.
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 178: 9–17.
- Melville S.W., Fraser D.D. 1993. Meteor-Burst Communications: A Review. *The transactions of the SA institute of electrical engineers*, 84(2): 60–68.

References

- Babadzhanov P.B. 1987. *Meteory i ikh nablyudeniye* [Meteors and their observations]. M.: Nauka, Gl. red. fizmat, lit., 176 p.
- Belokopytov A.E. 2015. Vybory effektivnogo vida tsifrovoy modulyatsii v sistemakh radiosvyazi po kriteriyam effektivnosti [The choice of an effective form of digital modulation in the radio communication systems according to the criteria of efficiency]. *Nauchnyy al'manakh* [Scientific Almanac]. 11-3(13): 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035
- Bel'kovich O. I. 2008. *Meteoroe rasprostraneniye radiovoln. Sprav. posobie* [Meteoric propagation of radio waves. Handbook]. Zelenodol'sk. 48 p.
- Blagov D.S., Volvenko S.V. 2010. Povysheniye skorosti peredachi informatsii v meteornykh sistemakh svyazi putem ispol'zovaniya signalov peremennoy dlitel'nosti [Increasing the data transmission rate in meteor communication systems by using variable-duration signals]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravleniye* [Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnical University. Computer science. Telecommunications. Management]. 5(108): 7–13.
- Zyuko A.G., Klovskiy D.D., Nazarov M.V., Fink L.M. 1986. *Teoriya peredachi signalov. Izd. 2, pererab. i dopoln* [Theory of signal transmission. 2nd edition, revised and supplemented]. Moskva: Radio i svyaz'. 304 p.
- Kapralov D.D., Kirik D.I. 2018. Stokhasticheskaya model' meteornogo radiokanala [Stochastic model of meteor-burst radio channel]. *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi* [Proceedings of educational institutions of communication], 4(3): 54–64. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64

- Karpov A.V., Sidorov V.V., Sulimov A.I. 2008. Meteornaya generatsiya sekretnykh klyuchey shifrovaniya dlya zashchity otkrytykh kanalov svyazi [Meteor Generation of Secret Encryption Keys for Protecting Open Communication Channels]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Information Technologies and Computing Systems], 3: 45–54
- Kachnov A.I., Penkin A.A., Rybakov A.V. 2016. Razrabotka mobil'noy sistemy informatsionnogo obespecheniya s ispol'zovaniem kanalov meteornoy svyazi [The development of mobile information provision systems using meteor communication channels]. V Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii» (Sankt-Peterburg, Rossiya, 10–11 marta 2016). Sbornik nauchnykh statey. SPb.: SPbGUT. 177–181.
- Maksimova E.I., Lavrenyuk I.I., Volvenko S.V. 2020. Umen'shenie vremeni dostavki soobshcheniya dlya veshchatel'nogo protokola meteornoy sistemy radiosvyazi za schet sovershenstvovaniya skhem modulyatsii [Reducing the message delivery time for the broadcast protocol of the meteor radio communication system by improving the modulation schemes]. Sbornik dokladov 75-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova. 116–118.
- Mashkova E.D., Zav'yalov S.V. 2020. Otsenka vremeni dostavki soobshcheniy v meteornom kanale radiosvyazi pri ispol'zovanii poludupleksnogo protokola [Estimation of the message delivery time in the meteor radio communication channel using the half-duplex protocol]. Sbornik dokladov 75-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova. 123–126.
- Meteornaya svyaz' na ul'trakorotkikh volnakh [Meteor communication on ultrashort waves]. 1961. Sbornik statey. pod red. A. N. Kazantseva. M.: Izd-vo inostr. literatury. 287 p.
- Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. 2019. Osnovnye napravleniya razvitiya meteornoy svyazi [The main directions of development of meteor communication]. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli* [High-tech technologies in space research of the Earth], 11(4): 30–47. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277
- Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. 2016. Territorial'no raspredelennyy stand PAO «Inteltek» i novye vozmozhnosti provedeniya NIR i OKR po sozdaniyu perspektivnykh kompleksov svyazi [The "Inteltek" pjsc geographically distributed test bench (stand) and the new possibilities of RDT&E for creation of the next-generation communication systems]. *Morskaya radioelektronika* [Marine electronics], 3: 50–55.
- Pershin A.S. 2013. Metody prostranstvennoy fil'tratsii pomekh [The spatial noise filtering]. *Doklady TUSURa*, 3(29): 43–46.
- Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. 2016. Apparatno-programmnyy kompleks dlya obnaruzheniya meteornykh sledov s izmenyaemoy polosoy propuskaniya [Hardware and software package for meteor trails detection having variable bandwidth]. *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy* [Radiotechnical and Telecommunication Systems], 4(24): 66–75
- Titkov S.B. 2006. Tekhnicheskie predlozheniya po ispol'zovaniyu meteornoy svyazi [Technical proposals for the use of meteor communication]. *Zashchita informatsii. Insayd* [Information security. Inside], 3. p. 74–80.
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition. Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987). LAHS Publ. 178: 9–17.
- Melville S.W., Fraser D.D. 1993. Meteor-Burst Communications: A Review. *The transactions of the SA institute of electrical engineers*, 84(2): 60–68.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 09.01.2025

Поступила после рецензирования 28.02.2025

Принята к публикации 04.03.2025

Received January 09, 2025

Revised February 28, 2025

Accepted March 04, 2025



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия,

Орехов Андрей Олегович, аспирант кафедры информационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Andrey O. Orekhov, Graduate student of the Department of Information Systems and Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia