

# МЕТОД ОЦЕНКИ ДОСТУПНОСТИ РАДИОКАНАЛОВ В РЕЖИМЕ С ППРЧ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ХОДЕ СЕАНСА СВЯЗИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-7-19-24

**Жеглов Кирилл Дмитриевич,**  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия,  
[zheglov.k@gmail.com](mailto:zheglov.k@gmail.com)

**Мингалев Андрей Николаевич,**  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия,  
[ming@list.ru](mailto:ming@list.ru)

**Турликов Андрей Михайлович,**  
Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия,  
[turlikov@guap.ru](mailto:turlikov@guap.ru)

**Manuscript received** 20 May 2025;  
**Accepted** 28 June 2025

Статья подготовлена при финансовой поддержке  
Российского научного фонда, проект № 22-19-00305-П  
<https://rscf.ru/project/22-19-00305/> "Пространственно-  
временные стохастические модели беспроводных сетей  
с большим числом пользователей"

**Ключевые слова:** эффективность режима  
с программной перестройкой рабочей частоты,  
оценка пригодности радиоканала, декаметровый  
диапазон, повышение своевременности передачи

В работе представлены результаты разработки способа активного контроля рабочих частот для режима передачи с псевдослучайной перестройкой частоты (ППРЧ), реализуемого непосредственно в ходе сеанса связи. Рассмотрены традиционные методы, применяемые в УКВ-, ОВЧ- и диапазоне декаметровых волн (КВ), выполнен их сравнительный анализ с точки зрения применимости, достоинств и ограничений. Показано, что большинство существующих решений предполагает наличие высоконадежного обратного радиоканала для обмена служебной информацией, что ограничивает их использование в условиях нестабильной обратной связи. Представлены результаты расчета, используемые для оценки канального ресурса декаметровых линий радиосвязи. Предложен и подробно описан способ активного контроля частот, не требующий устойчивого обратного канала. Разработан аналитический аппарат для оценки временных характеристик, определяющих оперативность передачи битовой информации в условиях ППРЧ. Приведены схемы и графики, иллюстрирующие ключевые положения метода. Проведена количественная оценка эффективности предложенной концепции в сравнении с традиционными решениями, с введением специального показателя, отражающего выигрыш по времени при восстановлении работоспособности канала при потере пригодности заранее выбранных частот. Представлены результаты моделирования, демонстрирующие работу способа в различных условиях помеховой обстановки. Сформулированы основные выводы и определены направления дальнейших исследований.

#### Информация об авторах:

**Жеглов Кирилл Дмитриевич**, аспирант кафедры №25 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения", Санкт-Петербург, Россия

**Мингалев Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры №25 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения", Санкт-Петербург, Россия

**Турликов Андрей Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой №25 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения", Санкт-Петербург, Россия

#### Для цитирования:

Жеглов К.Д., Мингалев А.Н., Турликов А.М. Метод оценки доступности радиоканалов в режиме с ППРЧ непосредственно в ходе сеанса связи // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №7. С. 19-24.

#### For citation:

K. D. Zheglov, A. N. Mingalev, A. M. Turlikov, "Method for assessing the availability of radio channels in the mode with FRCH during a communication session", T-Comm, 2025, vol. 19, no.7, pp. 19-24. (in Russian)

**Введение**

При разработке современных систем радиосвязи различных диапазонов актуализируется проблема обеспечения надежной передачи данных в условиях организованных и непреднамеренных помех, а также многолучевого распространения радиоволн.

Эффективным методом обеспечения помехозащищенности систем связи является использование сигналов с расширением спектра. В настоящее время активно применяется режим с программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) [1, 2], принцип которого заключается в выборе рабочих частот из заранее подготовленного списка в ходе сеанса связи в соответствии с заданным алгоритмом, известным как отправителю, так и получателю [3-5].

Однако, если в ОВЧ-диапазоне положительный эффект от режима ППРЧ достигается за счет кратковременности работы радиолинии на каждой из используемых частот [11, 12], что исключает необходимость их контроля, то в декаметровом канале сложно рассчитывать на высокую скорость перестройки рабочей частоты.

Неконтролируемые частотные скачки в случае непригодности части рабочих каналов приводят к необходимости повторной передачи [6-9]. Поэтому в декаметровом диапазоне совместно с применением ППРЧ целесообразно использовать режим оценки пригодности рабочего канала, [14, 15], практическая реализация которого на текущий момент является приоритетным направлением, целью которого является выбор рабочих частот для сеанса связи исходя из условий канала и последующий их контроль [10, 11].

В настоящей статье изложены результаты разработки способа, направленного на снижение времени, затрачиваемого на контроль пригодности радиоканалов непосредственно в ходе передачи информации в режиме с ППРЧ.

**Основные процедуры анализа пригодности частот**

В соответствии с [10, 12], различают два основных способа выбора рабочих каналов для организации режима ППРЧ. Первый способ, находящий широкое применение в радиостанциях декаметрового диапазона, построен на принципе предварительного подбора рабочих каналов из набора потенциально возможных, исходя из предъявляемых к ним требований. И хотя на стадии предварительного тестирования и возможно исключить из генерируемого рабочего списка однозначно непригодные для работы частотные каналы [13], оставшиеся, из-за специфики распространения радиоволн в ионосфере, считаются условно пригодными. Так как в любой момент времени их качество может ухудшиться, безошибочная передача данных по ним становится маловероятной.

Второй способ, преимущественно используемый в УКВ и ОВЧ диапазонах [14], изначально предполагает присутствие непригодных каналов, так как означает случайный (или бесконтрольный) выбор рабочих каналов без анализа соответствия их устанавливаемым требованиям.

Важно отметить, что оба способа предполагают существенные затраты ресурсов: в первом случае – временного, во-втором – частотного. Кроме того, первый способ выглядит наиболее рациональным, так как изначально позволяет исключить из режима с ППРЧ заведомо непригодные рабочие

частотные каналы. В связи с этим, его целесообразно взять за основу для разработки обновленной концепции. В данной работе в отличие от ранее предложенных в [22, 23] методов, был существенно изменен подход к построению канал обратной связи, и разработан алгоритм повторного включения ранее отключенных каналов.

В качестве исходных данных для разработки способа контроля берутся следующие параметры: диапазон частот, объем передаваемых сообщений, требования по своевременности и скорости перестройки с одной рабочей частоты на другую в режиме ППРЧ.

Ниже подробно описана методика выбора диапазона рабочих частот.

Диапазон частот  $F$ , определяющий рабочий список каналов, характеризуется емкостью  $N_F$ , вычисляемой в соответствии с формулой (1)

$$N_F = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\Delta f_c}, \tag{1}$$

где  $F_{\max}$  – максимально допустимое значение частоты;  $F_{\min}$  – минимально допустимое значение частоты;  $\Delta f_c$  – ширина рабочего канала.

В связи со спецификой распространения радиоволн в ионосферном канале, ранее рассмотренных в [22, 23] где изначально ширина допустимого частотного диапазона определяется номиналом оптимальной рабочей частоты  $f_{\text{ОРЧ}}$ , допустимый диапазон для линий радиосвязи декаметрового диапазона считается в соответствии со следующим выражением

$$\Delta F = [f_{\text{ОРЧ}} - 0,1f_{\text{ОРЧ}}; f_{\text{ОРЧ}} + 0,05f_{\text{ОРЧ}}]. \tag{2}$$

Канальная емкость вычисляется с помощью выражения (3)

$$N_F = \frac{(f_{\text{ОРЧ}} + 0,05f_{\text{ОРЧ}}) - (f_{\text{ОРЧ}} - 0,1f_{\text{ОРЧ}})}{\Delta f_c} = \frac{0,15f_{\text{ОРЧ}}}{\Delta f_c}. \tag{3}$$

При разработке обновленной концепции контроля частот используем следующие допущения и ограничения, ранее предлагаемые в [22, 23]:

- для организации канала обратной связи используются частоты из перечня рабочих частот без введения отдельно выделенных для этих нужд частот;
- время анализа пригодности рабочего канала не должно превышать времени передачи сообщений на рабочей частоте, которое определяется в соответствии со скоростью ППРЧ;
- наличие запасных частот, заданных списком рабочих каналов, должно допускать их своевременную замену в случае выявления непригодности канала;
- время, отводимое для процедур модуляции/демодуляции, а также для настройки возбуждителя и коммутации приемно-передающих трактов, пренебрежимо мало по отношению к времени работы радиолинии на рабочей частоте в режиме с ППРЧ.

Предложенная в настоящей статье концепция построена на базе способов, описанных в работах [20-23], где процедуры анализа пригодности рабочих каналов производятся непосредственно перед передачей сообщений. При этом тестируемый радиоканал используется в качестве обратного, по которому осуществляется передача информации о результатах проверки его пригодности.

В соответствии с вышесказанным, ниже опишем основные процедуры предлагаемой концепции.

В зависимости от используемого типа канала радиолинии генерируется список рабочих частот в соответствии с выражением (1), или (3) – для ионосферного канала. После этого с учетом имеющихся радиоданных определяется адресная группа частот и порядок их замены ввиду появления непригодных радиоканалов, выявленных в ходе сеанса связи.

Из списка адресной группы источник информации последовательно на каждой из частот передает закодированный помехоустойчивым кодом тестовый блок данных, известный на приемной стороне. Приемник получает данные, по контрольной сумме проверяет их целостность и, если все в порядке, по обратному каналу отправляет положительную квитанцию. Если данные отсутствуют, или повреждены, отправляется отрицательная квитанция. Подтверждение получения переданного текстового блока передается на той же частоте, на которой было принято сообщение. Обратная передача осуществляется в тот момент времени, когда передающая сторона посылает тестовый блок уже на следующей частоте из адресной группы. Двусторонняя передача «тестовый блок – квитанция» производится последовательно на всех частотах из адресной группы. Для повышения точности результатов тестирования, передача тестовых блоков производится со скоростью, на которой планируется передавать информационные блоки.

На передающей стороне оценивается значение принятой квитанции. По результатам анализа принимается итоговое решение о целесообразности дальнейшего использования тестируемого канала для сеанса связи. Если квитанция принимает положительное значение – канал пригоден для дальнейшего сеанса связи, если не принята вовсе или имеет отрицательное значение – канал не пригоден.

Очевидно, что даже в условиях сильных помех, передача данных в виде обратной квитанции гораздо надежнее обратной передачи основного текстового сообщения, за счет меньшего объема данных, передаваемых в квитанции, и как следствие возможности ее кодирования высоконадежным помехоустойчивым кодом, значительно превышающим помехозащищенность основного сообщения. Дополнительно, квитирование позволяет осуществлять простейшую многократную повторную передачу в течение длительности такта основного сообщения. В таком случае обеспечивается однозначность ее различения на принимающей стороне, так как вероятность инверсии квитанции из положительной в отрицательную пренебрежимо мала. Применение механизма квитирования вместе с алгоритмом обратного включения канала, рассматриваемым далее, и являются одним из ключевых отличий предлагаемой концепции от способов ранее рассматриваемых в [21-23].

Принцип тестирования рабочих каналов из адресной группы частот представлен на рисунке 1.

В предлагаемой концепции для тестирования потребуется время, определяемое следующим образом

$$T_{\Sigma} = (N + 1) \times \Delta t \quad (4)$$

где  $N$  – количество частот в адресной группе;  $\Delta t$  – длительность временного интервала, определяемого скоростью перестройки с одной рабочей частоты на другую в режиме с ППРЧ.

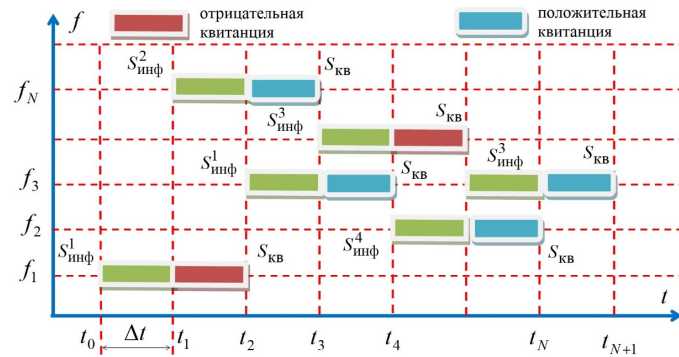


Рис. 1. Принцип тестирования рабочих частот в предлагаемой методике

После подбора адресной группы рабочих частот осуществляется передача сообщения посредством информационных блоков длительностью  $\Delta t$ . При этом передача осуществляется только на тех частотах, которые были отобраны в ходе предыдущего этапа.

Сам процесс передачи осуществляется аналогично процессу тестирования, т.е. на приемной стороне квитанцию о принятом информационном блоке передают обратно на той же частоте, на которой он был принят. В случае непригодности канала производится смена рабочей частоты из адресной группы, а информационный блок повторно передается на следующей рабочей частоте.

Анализ описанных процедур показывает, что в случае непригодности канала произойдет задержка при передаче сообщения только на длительности одного информационного блока, поскольку на следующем этапе данный канал будет исключен из рабочего списка.

Алгоритм повторного тестирования ранее отключенного канала в режиме ППРЧ включается через временной интервал  $T$ . Для каждого из отключенных каналов отсчет времени ведётся независимо друг от друга. В общем случае для каждого из каналов длительность его блокировки может быть различной. Длительность интервала  $T$  для каждой из частот должна определяться периодом функции корреляции на этой частоте. Однако, на практике эта длительность заранее неизвестна и может быть оценена только путём постоянной тестирования данной частоты. Такой подход несовместим с необходимостью высокоскоростной передачи сообщений. Поэтому предлагается задать длительность интервала блокировки  $T$  одинаковым для всех частот, выбранных в качестве рабочих для текущего сеанса связи.

Учитывая, что длительность интерференционных замираний в декаметровом канале достигает 1 мин, данное время может быть выбрано в качестве опорной точки для задания интервала блокировки отключенного канала  $T$ .

Такая схема гарантирует, что отключенный канал не проверяется слишком часто (чтобы не нагружать систему), но и не остаётся режиме ожидания слишком долго.

#### Оценка эффективности разработанной концепции

Для оценки эффективности разработанного метода адаптации системы передачи данных воспользуемся методами имитационного моделирования.

КВ радиоканал характеризуется наличием замираний. Для описания замираний в радиоканале используется, как правило, функция корреляции. Однако, на практике для оценки данной функции для каждой из рабочих частот необходимо длительное время осуществлять контроль этой частоты, т. е. передачу данных на ней. Данный подход связан с нерациональным расходом частотно-временного ресурса системы передачи данных, приводящим к значительному снижению информационной скорости передачи. С практической точки зрения важным является само наличие функции корреляции с некоторым, заранее неизвестным, периодом. Это позволяет предполагать, что если на некоторой частоте, ранее пригодной для передачи информации, отношение сигнал/шум уменьшилось до величины, не позволяющей передавать данные с заданной достоверностью при использовании определённой сигнально-кодовой конструкции, то в течении некоторого, заранее неизвестного времени, отношение сигнал/шум будет принимать значения, не превышающие данную величину.

Такой подход позволяет каждую из доступных для передачи частот рассматривать как марковскую цепь с двумя состояниями: «Пригодна для передачи данных» и «Непригодна для передачи данных». Необходимо отметить, что хотя отношение сигнал/шум и меняется во времени непрерывно, однако при передаче кодовых блоков определённой длительности, на качество связи оказывает влияние усреднённая на длительности передачи кодового блока величина отношения сигнал/шум. Поэтому корректно представлять переход из состояния в состояние дискретным процессом, шаг которого соответствует интервалам времени, равным длительности передачи кодового блока.

Вероятности перехода из состояния в состояние определяются периодом функции корреляции, характеризующей замирания в радиоканале. Поскольку данный период заранее неизвестен, то моделирование будет проводиться при различных соотношениях вероятностей перехода. Весь выделенный для связи набор из  $N$  частот при описанном подходе представляет собой совокупность из  $N$  марковских цепей, в каждой из которых протекает независимый от других цепей случайный процесс.

На первоначальном этапе для передачи сообщений используются все выделенные для связи частоты. Каждое из сообщений передаётся на одной из частот, номер которой определяется псевдослучайным способом. В случае неуспешной передачи сообщения на какой-либо из частот, данная частота временно исключается из списка рабочих частот на время, длительность которого определяется интервалом блокировки. По истечении заданного времени частота автоматически возвращается в список рабочих частот. При этом, если качество связи на данной частоте не увеличилось за тот период, когда она была исключена из списка, то она вновь будет исключена из списка после передачи первого же сообщения на этой частоте.

Моделирование проводилось при следующих параметрах: количество рабочих частот – 30, интервал блокировки, т.е. длительность временного интервала до повторного использования частоты, оказавшейся непригодной по результатам передачи, – 300 кодовых блоков. Вероятность перехода частоты из состояния 0 (частота пригодна для передачи сообщений с заданным качеством при использовании текущей сигнально-кодовой конструкции) в состояние 1 (частота непригодна для передачи сообщений)  $p_{01}$  фиксировалась, а вероятность

перехода из состояния 1 в состояние 0  $p_{10}$  принимала ряд последовательных значений.

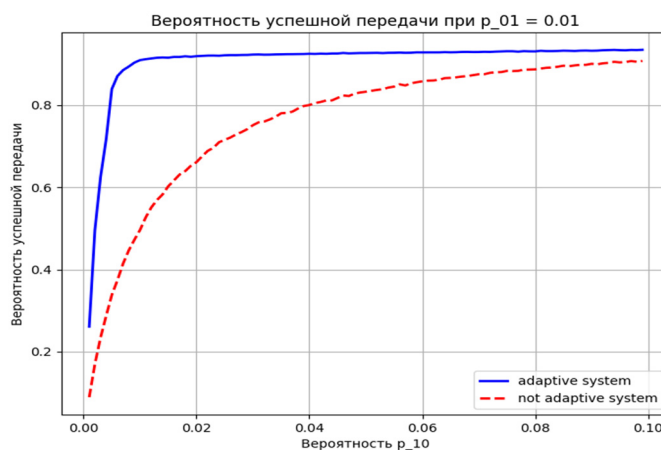


Рис. 2. Зависимости вероятности успешной передачи от вероятности перехода  $p_{10}$  для адаптивной (сплошная линия) и неадаптивной (пунктирная линия) систем при фиксированной вероятности  $p_{01} = 0,01$

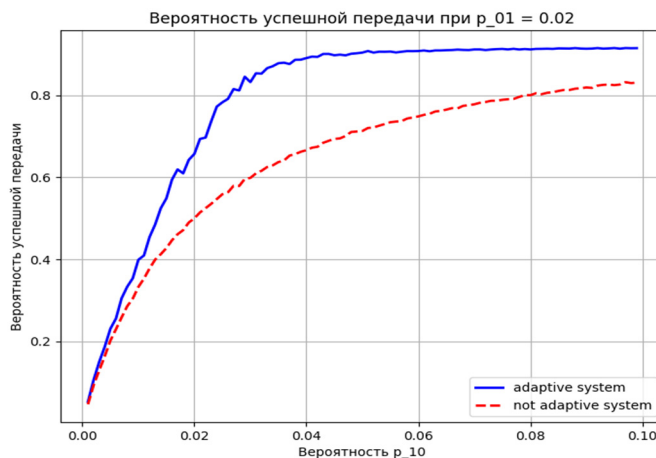


Рис. 3. Зависимости вероятности успешной передачи от вероятности перехода  $p_{10}$  для адаптивной (сплошная линия) и неадаптивной (пунктирная линия) систем при фиксированной вероятности  $p_{01} = 0,02$

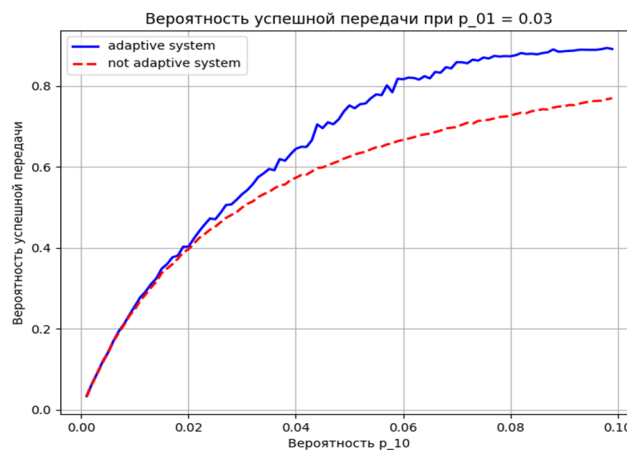


Рис. 4. Зависимости вероятности успешной передачи от вероятности перехода  $p_{10}$  для адаптивной (сплошная линия) и неадаптивной (пунктирная линия) систем при фиксированной вероятности  $p_{01} = 0,03$

### Заключение

В данной работе развивается концепция проактивного контроля рабочих частот [22, 23], отличающая разработанным алгоритмом повторного включения ранее отключенной частоты. Основным параметром разработанного алгоритма является длительность временного интервала блокировки частот. Этот параметр в идеальных условиях должен определяться периодом функции корреляции в радиоканале, который на практике неизвестен. Способ выбора оптимального значения данного параметра является предметом дальнейшего исследования.

Эффективность обновленной концепции иллюстрирована на примере, когда процесс перехода рабочих частот из пригодного состояния в непригодное и обратно описывается марковской цепью. Анализ полученных зависимостей подтверждает работоспособность и значительную эффективность разработанного метода для случая, когда переход из состояния в состояние осуществляется с малыми вероятностями. Однако, при увеличении вероятностей из перехода из состояния в состояние преимущество адаптивной системы снижается даже при оптимально выбранном интервале блокировки. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенный метод успешно функционирует при наличии медленных замираний в радиоканале и не даёт выигрыша при быстрых замираниях радиоканала.

### Литература

1. Агеев А.В. Исследование и разработка алгоритмов приема сигналов ППРЧ в каналах с памятью: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук по спец. 05.12.13. Самара: ПовГУТИ, 2009. 122 с.
2. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография. СПб.: Свое издательство, 2013. 166 с.
3. Хвостунов Ю.С. Предложения по построению аналоговой части sdr радиоприёмных устройств декаметрового диапазона системы радиосвязи с ППРЧ // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 35-44.
4. Дворников С.В., Домбровский Я.А., Семисошенко М.А., Гулидов А.А., Иванов Р.В. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи с медленной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты // Информация и космос. 2016. № 4. С. 11-14.
5. Якушенко С.А., Забело А.Н., Антонов В.В., Веркин С.С., Смирнов А.А. Использование турбо-кодов в радиосигналах с ППРЧ // Colloquium-Journal. 2020. № 1-1 (53). С. 37-42.
6. Бердышев В.П., Близнюк А.А., Жиронкин С.Б., Пшеницын А.А., Кучин А.А. Помехоустойчивость канала передачи данных с ППРЧ при мягком декодировании с использованием оценок спектральной плотности мощности помехи // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 13. № 7. С. 843-854.
7. Захаров В.Л., Витомский Е.В. Методы построения помехозащищенных ППРЧ-сигналов // Известия Института инженерной физики. 2019. № 4 (54). С. 50-54.
8. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Аванесов М.Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информация и космос. 2018. № 2. С. 22-29.
9. Иванов М.С., Аганесов А.В., Макаренко С.И. Повышение пропускной способности объединенной воздушно-космической сети связи. Часть 1. модели и методика повышения пропускной способности объединенной сети связи на основе использования mesh-технологий // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 3. С. 183-259.
10. Дворников С.В., Дворников С.С., Пшеничников А.В. Аппарат анализа частотного ресурса для режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты // Информационно-управляющие системы. 2019. № 4 (101). С. 62-68.
11. Прохоров В.Е. Обоснование требований к числу частотных каналов систем радиосвязи с ППРЧ // Теория и техника радиосвязи. 2018. № 3. С. 66-77.
12. Запорожец Г.В., Руденко В.Л., Скогорев К.К. Использование геометрического подхода для оценки эффективности функционирования радиоэлектронных систем РТК с ППРЧ в условиях радиоэлектронного конфликта // Радиотехника. 2018. № 12. С. 103-110.
13. Ржаных А.В., Лецинский А.В., Иванов С.Н. Оценка временных характеристик процесса синхронизации модема с ППРЧ в условиях воздействия помех // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2017. Т. 7. № 2. С. 242-244.
14. Бережных Д.Л., Вагин А.И., Левша А.В., Сауков А.М. Натурные испытания макета комплекса местоопределения ИРИ с ППРЧ ОВЧ-диапазона // Научные технологии. 2009. Т. 10. № 12. С. 35-39.
15. Тихонов С.С. Обобщенная математическая модель сигналов с ППРЧ в базах функций сплайн-характеров // Информация и космос. 2016. № 3. С. 47-51.
16. Быстров Д.А. Оценка возможности совершенствования систем передачи данных специального назначения на основе когнитивной псевдослучайной перестройки рабочих частот // Стратегическая стабильность. 2022. № 3 (100). С. 84-86.
17. Парамонов А.А., Худак Ю.И., Хоанг Ван З. Некогерентный прием сигналов с внутрисимвольной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты с мажоритарным сложением субсимволов // Радиотехника и электроника. 2021. Т. 66. № 9. С. 884-890.
18. Пшеничников А.В., Гордейчук А.Ю. Управление частотно-временным ресурсом помехозащищенных линий радиосвязи с программной перестройкой рабочей частоты // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2020. № 1. С. 104-108.
19. Дворников С.В., Бородин Е.Ю., Маджар Х., Махлуф Ю.Х. Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии // Информация и космос. 2007. № 4. С. 41-45.
20. Патент № 2710027 С1. Российская Федерация. Способ активного контроля рабочих частот: № 2019111785; заявл. 18.04.2019; опубл. 24.12.2019 / С. В. Дворников, А. В. Пшеничников, О. Ф. Дворникова, Е. В. Морозов, А. Ю. Гордейчук, М. В. Тарасов, А. Б. Царелунго, В. А. Бабошнин
21. Патент № 2447579 С2. Российская Федерация. Способ активного контроля рабочих частот: № 2010101884/08; заявл. 21.01.2010; опубл. 10.04.2012 / В. В. Егоров, А. А. Катанович, С. А. Лобов, А. Н. Мингалев, А. Е. Тимофеев, В. П. Чемиринко.
22. Дворников С.В., Жеглов К.Д. Способ тестирования радиоканалов в режиме с программной перестройкой рабочей частоты // Информация и космос. 2022. № 4. С. 15-20. EDN SUSKTB.
23. Дворников С.В., Дворников С.С., Жеглов К.Д. Проактивный контроль пригодности радиоканалов в режиме ППРЧ // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16, № 11. С. 15-20. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20. EDN YLWCFH.

## METHOD FOR ASSESSING THE AVAILABILITY OF RADIO CHANNELS IN THE MODE WITH FRCH DURING A COMMUNICATION SESSION

**Kirill D. Zheglov**, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, [zheglov.k@gmail.com](mailto:zheglov.k@gmail.com)

**Andrey N. Mingalev**, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, [ming@list.ru](mailto:ming@list.ru)

**Andrey M. Turlikov**, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, [turlikov@guap.ru](mailto:turlikov@guap.ru)

### Abstract

The paper presents the results of the development of a method for active control of operating frequencies for the transmission mode with pseudorandom frequency adjustment (RFR), implemented directly during a communication session. The traditional methods used in the VHF, VHF, and decameter wave (HF) ranges are considered, and their comparative analysis is performed in terms of applicability, advantages, and limitations. It is shown that most of the existing solutions assume the presence of a highly reliable reverse radio channel for the exchange of service information, which limits their use in conditions of unstable feedback. The calculation results used to estimate the channel resource of decameter radio communication lines are presented. A method of active frequency control that does not require a stable return channel is proposed and described in detail. An analytical apparatus has been developed to evaluate the time characteristics that determine the efficiency of bit information transmission under RFI conditions. Diagrams and graphs illustrating the key provisions of the method are presented. A quantitative assessment of the effectiveness of the proposed concept in comparison with traditional solutions has been carried out, with the introduction of a special indicator reflecting the time gain in restoring channel operability in case of loss of the suitability of pre-selected frequencies. The simulation results are presented, demonstrating the operation of the method in various interference conditions. The main conclusions are formulated and the directions of further research are determined.

**Keywords:** efficiency of the mode with software tuning of the operating frequency, assessment of the suitability of the radio channel, decameter range, increase in the timeliness of transmission

### References

- [1] A.V. Ageev, Research and development of algorithms for receiving IF signals in channels with memory: diss. for an apprenticeship degree cand. tech. sciences on special 12/05/13. Samara: PovGUTI, 2009. 122 p.
- [2] S.I. Makarenko, M.S. Ivanov, S.A. Popov, "Noise immunity of communication systems with pseudo-random tuning of the operating frequency", monograph. St. Petersburg: Own publishing house, 2013. 166 p.
- [3] Yu.S. Khvostunov, "Proposals for the construction of the analog part of the sdr radio receivers of the decameter range of a radio communication system with frequency hopping", *Technique of communications*. 2022. No. 1 (157), pp. 35-44.
- [4] S.V. Dvornikov, Ya.A. Dombrovsky, M.A. Semioshenko, A.A. Gulidov, R.V. Ivanov, "Evaluation of noise immunity of radio communication lines with slow pseudo-random tuning of the operating frequency", *Information and space*. 2016. No. 4, pp. 11-14.
- [5] S.A. Yakushenko, A.N. Zabelo, V.V. Antonov, S.S. Verkin, A.A. Smirnov, "The use of turbo codes in radio signals with frequency hopping", *Colloquium-Journal*. 2020. No. 1 (53), pp. 37-42.
- [6] V.P. Berdyshev, A.A. Bliznyuk, S.B. Zhironkin, A.A. Pshenitsyn, A.A. Kuchin, "Noise immunity of a data transmission channel with frequency hopping during soft decoding using interference power spectral density estimates", *Journal of the Siberian Federal University. Series: Technics and technologies*. 2020. Vol. 13. No. 7, pp. 843-854.
- [7] V.L.v Zakharov, E.V. Vitomsky, "Methods for constructing noise-protected frequency hopping signals", *Izvestiya of the Institute of Engineering Physics*. 2019. No. 4 (54). pp. 50-54.
- [8] S.V. Dvornikov, A.V. Pshenichnikov, M.Yu. Avanesov, "Model of destructive influence of cognitive character", *Information and space*. 2018. No. 2, pp. 22-29.
- [9] M.S. Ivanov, A.V. Aganesov, S.I. Makarenko, "Increasing the capacity of the unified aerospace communications network. Part 1. Models and methods for increasing the throughput of a unified communication network based on the use of mesh technologies", *Control Systems, Communications and Security*. 2022. No. 3, pp. 183-259.
- [10] S.V. Dvornikov, S.S. Dvornikov, A.V. Pshenichnikov, "Apparatus for analyzing the frequency resource for the mode of pseudo-random tuning of the operating frequency", *Information and control systems*. 2019. No. 4 (101), pp. 62-68.
- [11] V.E. Prokhorov, "Substantiation of requirements for the number of frequency channels of radio communication systems with frequency hopping", *Theory and technology of radio communication*. 2018. No. 3, pp. 66-77.
- [12] G.V. Zaporozhets, V.L. Rudenko, K.K. Skogorev, "The use of a geometric approach to assess the effectiveness of the functioning of radio-electronic systems of the radio-electronic systems of the radio-electronic system with frequency hopping in the conditions of a radio-electronic conflict", *Radiotekhnika*. 2018. No. 12, pp. 103-110.
- [13] A.V. Rzhanykh, A.V. Leshchinsky, S.N. Ivanov, "Estimation of temporal characteristics of the modem synchronization process with frequency hopping under the influence of interference", *REDS: Telecommunication devices and systems*. 2017. Vol. 7. No. 2, pp. 242-244.
- [14] D.L. Berezhnykh, A.I. Vagin, A.V. Levsha, A.M. Saukov, "Full-scale tests of the mock-up of the IRI positioning complex with VHF frequency hopping", *Science-intensive technologies*. 2009. Vol. 10. No. 12, pp. 35-39.
- [15] S.S. Tikhonov, "Generalized mathematical model of signals with frequency hopping in the bases of spline-character functions", *Information and space*. 2016. No. 3, pp. 47-51.
- [16] D.A. Bystrov, "Evaluation of the possibility of improving special-purpose data transmission systems based on cognitive pseudo-random restructuring of operating frequencies", *Strategic stability*. 2022. No. 3 (100), pp. 84-86.
- [17] A.A. Paramonov, Yu. 2021. Vol. 66. No. 9, pp. 884-890.
- [18] A.V. Pshenichnikov, A.Yu. Gordeychuk, "Management of the frequency-time resource of noise-protected radio communication lines with software restructuring of the operating frequency", *Problems of radio electronics. Series: TV Technique*. 2020. No. 1, pp. 104-108.
- [19] S.V. Dvornikov, E.Yu. Borodin, Kh. Madzhar, Yu.Kh. Makhlyuf, "Time-Frequency Estimation of Signal Parameters Based on the Envelope Functions of Their Energy Distribution Density", *Information and Space*. 2007. No. 4, pp. 41-45.
- [20] Patent No. 2710027 C1. Russian Federation. Method of active control of operating frequencies: No. 2019111785: application 04/18/2019: published 12/24/2019 / S. V. Dvornikov, A.V. Pshenichnikov, O. F. Dvornikova, E. V. Morozov, A. Y. Gordeychuk, M. V. Tarasov, A. B. Tsarelungo, V. A. Baboshin
- [21] Patent No. 2447579 C2. Russian Federation. Method of active control of operating frequencies: No. 2010101884/08: application 21.01.2010: published 10.04.2012 / V. V. Egorov, A. A. Katanovich, S. A. Lobov, A. N. Mingalev, A. E. Timofeev, V. P. Chemirenko
- [22] S. V. Dvornikov, K. D. Zheglov, "A method for testing radio channels in the mode with software adjustment of the operating frequency", *Information and space*. 2022. No. 4, pp. 15-20.
- [23] S. V. Dvornikov, S. S. Dvornikov, K. D. Zheglov, "Proactive monitoring of the suitability of radio channels in the RF transmission mode", *T-Comm*. 2022. Vol. 16, No. 11, pp. 15-20. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-11-15-20.

### Information about authors:

**Kirill D. Zheglov**, postgraduate student of the Department №25 of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation", Saint Petersburg, Russia

**Andrey N. Mingalev**, Candidate of Technical Sciences, associate professor of department №25 of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, Russia

**Andrey M. Turlikov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of department №25 of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation", Saint Petersburg, Russia