

# ОЦЕНКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ В РЕЖИМЕ С МЕДЛЕННОЙ ПРОГРАММНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

А.Ю. Гордейчук<sup>1</sup>, С.В. Дворников<sup>1\*</sup>, В.А. Иванов<sup>1</sup>, М.А. Русинов<sup>1</sup>, М.А. Семисошенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: practicsv@yandex.ru

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Гордейчук А.Ю., Дворников С.В., Иванов В.А., Русинов М.А., Семисошенко М.А. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 4. С. 36–42.

**Аннотация:** Представлены результаты оценки помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты. Рассмотрена вероятностная модель радиоподавления линий радиосвязи КВ-диапазона путем постановки прицельных помех. Определены условия, обеспечивающие их временную скрытность и помехозащищенность.

**Ключевые слова:** режим медленной ППРЧ, постановка прицельных помех, модель подавления линии радиосвязи.

## Введение

В условиях скрытого информационного противоборства, осуществляемого, в том числе, и вне рамок непосредственного вооруженного конфликта, поиск эффективных мер противодействия деструктивным воздействиям преднамеренных помех на линии радиосвязи всегда являлся актуальной и значимой задачей практически для всех систем радиосвязи.

В настоящее время разрабатываются различные подходы, направленные на разрешение сложившейся ситуации, среди которых особое место занимают методы помехозащиты линий радиосвязи, базирующиеся на применении режима с программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) [1-4]. Пропагандируемая в них методология исходит из оценки помехозащищенности указанного режима. Данные обстоятельства стимулировали проведение исследования по данной проблематике, отдельные результаты которого и представлены в статье. В частности, вопросы количественной оценки режима с медленной ППРЧ, широко применяемому в последнее время в системах радиосвязи КВ-диапазона. Полученные результаты можно рассматривать как исходный материал для дальнейшего проведения исследования по данной проблематике.

## Анализ подходов к организации режимов работы систем радиосвязи с ППРЧ

В соответствии с [1] сигналы с ППРЧ можно рассматривать как последовательность модулированных радиоимпульсов, несущие колебания которых перестраиваются в некотором диапазоне рабочих частот  $\Delta F_p$ .

Очевидно, что эффективность режима ППРЧ определяется степенью скрытности для системы поиска автоматизированной станции помех в рабочем диапазоне частот с шириной  $\Delta F_p$ , законом изменения и порядком выбора текущего значения несущего колебания  $f_n$ , где  $n \in [1, N]$ ,  $N$  – общее число доступных для перестройки значений частот. Вместе с тем, несмотря на кажущуюся случайность закона смены частот, обязательным условием реализации режима ППРЧ является его детерминированность для приемной стороны систем радиосвязи [4]. В результате возникает объективное противоречие между требованиями к детерминированности параметров режима ППРЧ систем радиосвязи с одной стороны, и обеспечение их скрытности по отношению к автоматизированной станции помех, с другой.

Принцип организации режима ППРЧ изначально предполагает разбиение диапазона рабочего

диапазона  $\Delta F_p$  на  $N$  частотных каналов, каждый из которых можно рассматривать как спектральную область с центральной частотой  $f_n$ . При этом в ходе смены частотных позиций текущий канал может быть как смежным с предыдущим, так и разнесенным по спектру.

Такой подход к организации режима с ППРЧ позволяет при необходимости исключать из работы каналы, пораженные помехами различной природы. В [2] подобный процесс условно называется формированием «спектральных провалов», который приводит к уменьшению емкости изначально выделяемого частотного диапазона.

Другим важным параметром режима ППРЧ является скорость смены частотных каналов  $V_{чк}$ , которая характеризуется длительностью информационного символа сигнала  $\tau_c$  и временем работы систем радиосвязи в пределах каждого из частотных позиций  $\tau_p$  [3].

В зависимости от соотношения времени работы на одной частоте  $\tau_p$  и длительности информационных символов  $\tau_c$  режим ППРЧ классифицируют на межсимвольный, посимвольный и внутрисимвольный [1], для двоичных передач без кодирования на межбитовую, побитовую и внутривитовую ППРЧ соответственно.

Так, при межсимвольной ППРЧ на каждой из частот передается несколько информационных символов  $m \geq 2$ , то есть  $\tau_p = m \tau_c$ . При посимвольной ППРЧ в пределах каждого частотного канала передается только один информационный символ, при этом  $\tau_p = \tau_c$ . При внутрисимвольной ППРЧ в пределах частотного канала передают лишь часть информационного символа (субсимвол) длительностью  $\tau_l = \tau_c/L$ , где  $l = 1, \dots, L$ ,  $L$  – число субсимволов [2]. В результате применения последнего режима происходит расширение спектра, при этом  $\tau_l = \tau_p = \tau_c/L$ .

В [2], [4] и [5] предложено деление систем радиосвязи с ППРЧ в зависимости от скорости смены частотных позиций  $R_{ППРЧ} = 1/\tau_p$ . При этом критерием такого деления (медленная и быстрая) выступают значения градаций  $R_{ППРЧ}$ .

Однако такой подход является достаточно субъективным. Более конструктивной и целесообразной авторам видится следующая классификация:

медленная ППРЧ – при  $\tau_p = m \tau_c$ ;

обычная ППРЧ – при  $\tau_p = \tau_c$ ;

медленная ППРЧ – при  $\tau_p = \tau_c/L$ .

Предложенная классификация достаточно полно характеризует потребный частотный ресурс, выделяемый для систем радиосвязи. В этом случае зависит от характера режима, а не от скорости перестройки по частоте. В результате, при одном и

том же значении  $R_{ППРЧ}$  может быть организован как режим медленной, так и быстрой ППРЧ.

В настоящее время в системах радиосвязи, использующих режим с ППРЧ, в равной степени применяют методы когерентной и некогерентной обработки сигналов. При этом основным видом модуляции, независимо от режима ППРЧ, является  $M$ -ичная некогерентная частотная манипуляция, чаще всего двоичная. В системах радиосвязи, реализующих режим с медленной ППРЧ, могут применяться фазовая манипуляция, в том числе квадратурная, относительная фазовая манипуляция и манипуляция с минимальным сдвигом фазы [1].

Для обеспечения статистической независимости ошибок при приеме символов в режиме с ППРЧ на передающей стороне осуществляется временное перемежение, при котором каждый символ кодового слова передается по отдельному частотному каналу. В результате перемежения сигнал во временной области представляется бесструктурной формой, существенно затрудняющей эффективную постановку оптимальных помех. При приеме, путем операции деперемежения возвращают исходное представление символов.

Применение операций перемежения и деперемежения символов как с медленной, так и быстрой ППРЧ позволяет корректировать пакеты ошибок, вызываемые помехами при квазинепрерывном режиме радиоподавления. Вместе с тем техническая реализация режима ППРЧ представляет собой достаточно сложный процесс, поэтому его выбор может быть обусловлен только возможностями по помехозащите.

В [5] помехозащищенность трактуется как взаимозависимая совокупность свойств по разведзащищенности и помехоустойчивости. Если помехоустойчивость радиолиний и сигналов достаточно полно исследована, то вопросы разведзащищенности для режима ППРЧ пока еще не имеют однозначных трактовок. В частности, в [5] разведзащищенность рассмотрена с позиций скрытности систем радиосвязи, то есть ее способности противостоять действиям со стороны автоматизированной станции помех, направленным на обнаружение сигналов, измерение параметров и определение направления их прихода.

В [6] скрытность сигналов в системах радиосвязи, в зависимости от решаемых задач, предложено классифицировать на энергетическую, структурную, информационную, временную и пространственную. Вместе с тем анализ такой классификации показал, что в рассматриваемом контексте интерес представляют энергетическая, временная и пространственная скрытности. При этом наиболее существенной в дуэльной ситуации противостояния систем радиосвязи и автоматизированной станции помех является именно энергетическая скрытность сигналов, так как начало функциони-

рования большинства режимов постановки помех происходит сразу после энергетического обнаружения сигналов источников радиоподавления [7].

Энергетическая скрытность направлена на исключение (существенное затруднение) обнаружения сигналов систем радиосвязи. В качестве показателей ее оценки могут быть использованы: вероятность обнаружения сигналов  $P_D$  при заданной вероятности ложной тревоги  $P_F$ ; отношение сигнал-шум (ОШ) на входе приемного тракта  $q_0^2$ , обеспечивающее заданные значения  $P_D$  и  $P_F$ , и дальность обнаружения  $D_0$  при заданном  $q_0^2$  [8, 9].

Очевидно, что для процесса радиоподавления систем радиосвязи в режиме с ППРЧ существенным является факт излучения помехи именно в период нахождения сигнала на обнаруженной частоте. В [10] показано, что временная скрытность систем радиосвязи определяется возможностью решения задач автоматизированной станцией помех за время существования сигнала в частотном радиоканале, то есть она зависит от условий применения автоматизированной станции помех и ее тактико-технических возможностей.

Временную скрытность можно оценить необходимым временем для сбора сведений о параметрах сигналов систем радиосвязи с заданной вероятностью. С этих позиций анализ временной скрытности может быть основан на представлении временного режима работы систем радиосвязи на излучение и моментов их пребывания в зоне энергетической и электромагнитной доступностей автоматизированной станции помех.

В работах [1, 2, 11] изложен подход к оценке эффективности систем радиосвязи с ППРЧ в условиях их подавления со сторон автоматизированной станции помех, учитывающий энергетические возможности и временную динамику изменения ситуации, где предложена вероятностно-временная модель функционирования систем радиосвязи в условиях постановки помех. В частности, получено общее выражение для среднего значения вероятности ошибки на бит информации  $P_E$ , позволяющее оценивать помехоустойчивость различных линий радиосвязи:

$$P_E(N) = P_{E_0} + P_{об}(N) \left[ 1 - \frac{K_0}{N} \right] (P_{E_n} - P_{E_0}), \quad (1)$$

где  $P_{E_n} = P_E(q_n^2)$ ,  $P_{E_0} = P_E(q_0^2)$  – средние вероятности ошибки на бит при наличии и отсутствии помех соответственно;  $P_{об}(N)$  – вероятность правильного обнаружения источника радиоизлучения на одной частоте (для ППРЧ в частотном канале);  $K_0$  – среднее количество шагов поиска длительностью  $T_0$ , затрачиваемое при обнаружении сигнала;  $N$  – количество сигналов, передаваемых за время  $T_0$ .

По результатам анализа выражения (1) в [2] определены условия эффективной постановки

помех. В частности, при  $P_{об}(N) \rightarrow 0$  и  $K_0 \rightarrow N$  радиоподавление становится невозможным.

Вместе с тем основу выражения (1) составляют вероятностные показатели, специфика расчета которых может быть самой различной, что затрудняет его непосредственное использование в практических приложениях. Более того, указанное выражение не учитывает должным образом специфику режима с ППРЧ. Поэтому авторы предлагают использовать для практических оценок подход, предложенный в [8], который исходит из того, что режим излучения помехи предопределяет процедуры поиска, направленные на обнаружение подавляемой линии радиосвязи. Заметим, что именно такой подход заложен в рабочем цикле большинства автоматизированных станций помех [12].

Таким образом, методологию, рассмотренную в [8], предлагается положить в основу оценки помехозащищенности линий радиосвязи КВ-диапазона.

#### **Особенности подавления линий радиосвязи КВ-диапазона современными автоматизированными станциями помех**

Специфика КВ-диапазона обусловила применения в нем систем радиосвязи, реализующих, преимущественно, режим с медленной ППРЧ. Вместе с тем в [13] разработан методический аппарат оценки эффективности линий радиосвязи для условий, когда рабочий цикл автоматизированной станции помех меньше времени работы систем радиосвязи в пределах субчастоты, поэтому именно его используем для дальнейшего исследования.

В настоящее время широко известны два способа постановки помех: синхронный и асинхронный (здесь и далее – по отношению к тактовым моментам смены частоты объекта радиоподавления) [14].

Анализ теоретических основ постановки синхронных помех [12], указывает на высокую эффективность первого способа. Однако его реализация, связанная с существенными техническими сложностями и серьезными экономическими затратами, приводит к тому, что на практике чаще используют режим постановки помех, основанный на асинхронном принципе радиоподавления. Именно поэтому рассмотрим его при оценке помехозащищенности линий радиосвязи КВ-диапазона.

Согласно [15], класс прицельных помех подразделяется на два подкласса: с запаздывающей и упреждающей погоней по частоте. Причем в теории и практике радиоэлектронной борьбы способ постановки прицельных помех подавляемой линии радиосвязи с ППРЧ, основанный на запаздывающей погоне по частоте, является одним из основных [16]. Его принцип основывается на том, что наиболее полной характеристикой ответной реакции автоматизированной станции помех на смену рабочей частоты линии радиосвязи, являет-

ся функция распределения времени запаздывания ответной помехи  $F(\tau_c)$ . Данную характеристику можно рассматривать с позиций вероятности подавления сигнала в пределах нахождения его на субчастоте  $P_n$ , то есть того, что в произвольный момент времени на интервале существования подавляемого сигнала  $\tau_c$  присутствует и помеха.

В общем случае  $P_n$  можно представить как [13]:

$$P_n = P_t\{\tau_c, T_n\} \times P_f\{M, M_r, P_k\}, \quad (2)$$

где  $P_t\{\tau_c, T_n\}$  – вероятность совпадения временно-го интервала существования сигнала  $\tau_c$  с интервалом подавления  $T_n$  на заданной частоте;  $P_f\{M, M_r, P_k\}$  – вероятность временного совпадения излучения прицельной помехи на текущей частоте работы линии радиосвязи, которая зависит от размера группы рабочих частот, вскрытых аппаратурой поиска  $M_r$  в полной группе рабочих частот  $M$ , используемых для работы подавляемой линии радиосвязи ( $M_r \leq M$ ), а также от вероятности правильного определения номинала текущей рабочей частоты  $P_k$  (из числа  $M_r$ , то есть уже известных частот) за время обнаружения  $\tau_\Delta$ .

В свою очередь, длительность подавления зависит от длительности интервала рабочего цикла  $T_{ц}$ , выделяемого на подавление автоматизированной станцией помех:

$$T_n = T_{ц} - \tau_\Delta. \quad (3)$$

При этом вероятность  $P_f$  определим следующим образом:

$$P_f = \frac{M_r}{M} P_k, \quad M_r \leq M. \quad (4)$$

Отметим, что отношение  $M_r/M$  характеризует полноту априорных сведений о номиналах субчастот ППРЧ, которые определяют в конечном итоге вероятность обнаружения текущей позиции при их смене. Указанное отношение в [13] представлено как вероятность определения полноты группы рабочих частот  $P_M = M_r/M$ . Тогда, подставив (4) в (2), получим:

$$P_n = P_t \times P_M \times P_k. \quad (5)$$

Анализ выражения (5), проведенный в работе [16], показал, что все три множителя, входящие в состав указанного выражения, оказывают равное влияние на результирующий показатель степени прицельности помех.

В асинхронном рабочем цикле «контроль-подавление» процесс контроля за сменой рабочих частот подавляемой линии радиосвязи осуществляется в периодических паузах на излучение помех с использованием контрольного приемника, для которого априорными данными являются номиналы рабочих частот из группы  $M_r$ . Заметим, что формирование списка группы  $M_r$  может выполняться как на этапе предварительного поиска, так и в период

временных интервалов между излучением помех непосредственно в процессе подавления.

Рассмотрим оценку выражения (5) с позиций вероятности совпадения интервала подавления автоматизированной станции помех времени существования сигнала. Именно данный показатель определяет степень прицельности постановки преднамеренных помех линиям радиосвязи с ППРЧ и оценивается отношением средней длительности совпадения по частоте и времени подавляемого сигнала и преднамеренной помехи к длительности излучения сигнала линии радиосвязи:

$$P_t = \frac{\tau_c - \sum_{i=1}^N \Delta t_i}{\tau_c}, \quad (6)$$

где  $\Delta t_i$  – отрезки временного интервала  $\tau_c$ , не совпадающие с прицельной по частоте помехой;  $N$  – среднее количество интервалов несовпадения на длительности существования подавляемого сигнала  $\tau_c$ .

В [13] указанный процесс представлен в виде диаграмм (рисунок 1), характеризующих процесс постановки прицельных помех линии радиосвязи с ППРЧ при асинхронном цикле «контроль-подавление». Интервалы, подверженные воздействию помех, отмечены темным цветом.

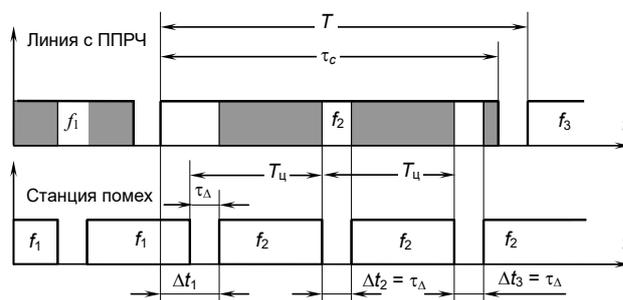


Рис. 1. Временные диаграммы процесса постановки прицельных помех линии радиосвязи с ППРЧ при асинхронном цикле «контроль-подавление» станции помех

В соответствии с представленными диаграммами можно сделать заключение, что максимальное значение вероятности  $P_t$  обеспечивается при знании полного списка номиналов группы рабочих частот линии радиосвязи с ППРЧ ( $M_r = M$ ) и условии их достоверного контроля ( $P_k = 1$ ).

Учитывая, что для асинхронного режима подавления интервал случайного запаздывания помехи  $\Delta t_1$  обусловлен особенностями работы СДВ, то его длительность равномерно распределена на всем интервале  $T_{ц} - \tau_\Delta$  (в предположении невыполнения условия совпадения интервала обнаружения  $\tau_\Delta$  с временем излучения сигнала ППРЧ  $\tau_c$ ). В этом случае средняя величина запаздывания  $\Delta t_1$  равна половине длительности цикла «контроль-подавление» без интервала обнаружения  $(T_{ц} - \tau_\Delta)/2$ .

В то же время, согласно [17] все последующие значения  $\Delta t_i$ ,  $i = 2, 3, \dots, N$  определяются только числом интервалов  $\tau_\Delta$ , помещающихся на оставшемся промежутке времени длительности сигнала  $\tau_c$  без значения  $(T_\psi - \tau_\Delta)/2$  можно представить следующим выражением:

$$\sum_{i=2}^N \Delta t_i = \frac{\tau_c - (T_\psi - \tau_\Delta)/2}{T_\psi} \tau_\Delta. \quad (7)$$

С учетом (7), выражение (6) примет следующий вид:

$$P_t = \frac{\tau_c - \Delta t_1 - \sum_{i=2}^N \Delta t_i}{\tau_c} = 1 - \frac{(T_\psi - \tau_\Delta)}{2\tau_c} - \frac{\tau_\Delta}{T_\psi} + \frac{T_\psi \tau_\Delta - \tau_\Delta \tau_\Delta}{2T_\psi \tau_c}, \quad \tau_c > T_\psi. \quad (8)$$

Заметим, что по своей сущности параметр  $\tau_\Delta$  представляет время реакции передатчика помех в цикле «контроль-подавление». Тогда величину среднего количества пауз  $N$  можно рассматривать как функцию показателя  $\gamma = \tau_c/T_\psi$ . При этом для заданных значений  $\tau_c$ ,  $T_\psi$  и  $\tau_\Delta$  в предположении невозможности контроля текущей субчастоты линии радиосвязи с ППРЧ за время меньшее, чем  $\tau_\Delta$  показатель (6) будет определяться как:

$$P_t(\gamma) = 1 - \frac{1}{2\gamma} + \frac{\tau_\Delta}{\tau_c} - \frac{\tau_\Delta}{T_\psi} - \frac{\tau_\Delta \tau_\Delta}{2\tau_c T_\psi}, \quad \tau_c > T_\psi. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) зависит от величины  $\tau_c$  при точном определении значения  $\tau_\Delta$ . При такой неопределенности сложно получить наглядные зависимости, характеризующие показатель  $P_t$ , поэтому в [13] предложено длительность цикла  $T_\psi$  рассматривать как функцию интервала обнаружения  $k = T_\psi/\tau_\Delta$ . С учетом сделанных замечаний, выражение (9) преобразуя к виду:

$$P_t(\gamma, k) = 1 - \frac{1}{2\gamma} + \frac{1}{\gamma k} - \frac{1}{k} - \frac{1}{2\gamma k^2}, \quad \tau_c > T_\psi. \quad (10)$$

Зависимости  $P_t$  от  $\gamma$  при различных значениях  $k$  представлены на рисунке 2.

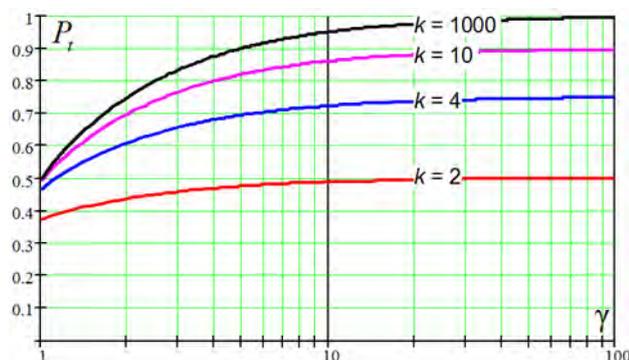


Рис. 2. Зависимость вероятности совпадения по времени от показателя  $\gamma$  при различных значениях  $k$

Графический анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что уменьшение длительности цикла подавления более чем в 4 раза по отношению к времени существования сигнала ППРЧ не приводит к значительному повышению вероятности  $P_t$ .

Таким образом, нарушение работы линии радиосвязи с ППРЧ до 100 перестроек в секунду (1/с) (характерно для линий радиосвязи с ППРЧ КВ-диапазона) обеспечивается при длительности цикла подавления порядка 2,5 мс (при условии обеспечения энергетической доступности систем радиосвязи).

Эффективность радиоподавления может существенно возрасти при снижении длительности интервала, отводимого на обнаружение сигнала на субчастоте  $\tau_\Delta$  по отношению к протяженности цикла  $T_\psi$ . Так, если для условия  $\tau_\Delta = T_\psi/2$  значение вероятности  $P_t$  не превысит величины 0,5 даже при соотношении  $\gamma$  свыше 1000, то определив  $k = 10$ , значение вероятности  $P_t > 0,8$  обеспечивается уже при  $\gamma = 3$ .

Согласно полученным результатам подавление линии радиосвязи с ППРЧ с вероятностью  $P_t > 0,9$  даже при условии  $P_M = P_k = 1$  связано со значительными техническими сложностями, так как в этом случае необходимо обеспечить  $k \approx 1000$ . Тогда при скорости ППРЧ равной 100 перестройкам в секунду длительность интервала обнаружения не должна превышать 10 мкс, причем поиск необходимо будет проводить по группе частот  $M \geq 256$  значений.

В [16] установлено, что при оптимальной длительности цикла «контроль-подавление», равной:

$$T_{\psi \text{ опт}} = \tau_\Delta \sqrt{2\alpha - 1}, \quad \alpha = \frac{\tau_c}{\tau_\Delta} > 1, \quad (11)$$

показатель степени прицельности помех по времени их излучения при асинхронном цикле принимает максимальное значение:

$$P_{\text{п макс}}^{\text{ас}}(\alpha) = 1 - \frac{\sqrt{2\alpha - 1}}{\alpha}, \quad \alpha > 1, \quad (12)$$

которое определяется только относительным параметром  $\alpha$ , характеризующим длину посылки сигнала  $\tau_c$  относительно времени реакции передатчика помех в цикле «контроль-подавление»  $\tau_\Delta$ .

С рассмотренных позиций параметр  $\alpha$  характеризует относительную временную скрытность линии радиосвязи с ППРЧ. Действительно, чем меньше  $\alpha$ , тем выше скрытность подавляемого сигнала для управляемого по частоте и времени включения передатчика помех с фиксированным временем реакции  $\tau_\Delta$ .

Зависимость (12) от параметра  $\alpha$  приведена на рисунке 3 (кривая 1). На этом же рисунке кривой 2 показана зависимость показателя степени прицельности помех по времени их излучения при синхронном режиме подавления источника радиоизлучения [13].

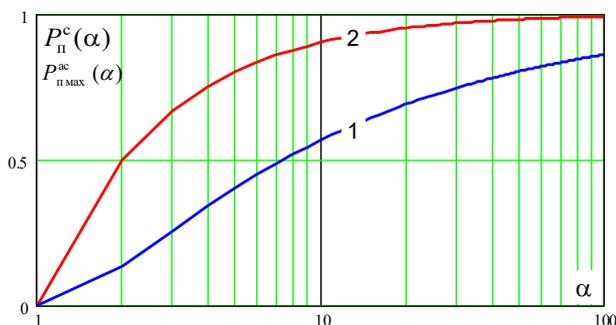


Рис. 3. Показатель степени прицельности помех по времени их излучения при оптимальном асинхронном режиме подавления (кривая 1) и синхронном режиме подавления (кривая 2) в цикле «контроль–подавление», в зависимости от параметра  $\alpha$  скрытности сигналов с ППРЧ

Графический анализ данных, представленных на рисунке 3, позволяет сделать вывод о том, что при длине посылки сигнала  $\tau_c$ , равной либо меньшей, чем время реакции  $\tau_\Delta$ , степень прицельности помех будет равна нулю  $P_{\text{п}}^{\text{ac}} = 0$ , то есть на линию радиосвязи не будет оказываться деструктивное воздействие. Такой результат согласуется с физическими представлениями о предельных возможностях станции прицельных по времени излучения помех.

Действительно, с увеличением параметра  $\alpha > 1$  степень прицельности помех с запаздывающей погоней по частоте при асинхронном оптимальном цикле «контроль–подавление» монотонно возрастает. И при  $\alpha = 20$  достигает уровня, близкого к 0,7. Среднее количество  $\bar{N}_{\text{ц}}$ , оптимальных по критерию минимума показателя циклов «кон-

троль–подавление» на интервале  $\tau_c$  одной посылки сигналов с ППРЧ определяется отношением:

$$\bar{N}_{\text{ц}} = \frac{\tau_c}{T_{\text{ц опт}}} = \frac{\alpha}{\sqrt{2\alpha - 1}}, \quad \alpha > 1, \quad (13)$$

которое неограниченно растет с увеличением параметра  $\alpha$ .

Соотношения, характеризующие временные параметры потока сигналов линии радиосвязи с ППРЧ и параметры цикла «контроль–подавление», позволяют рассчитать реальную и потенциальную степень прицельности помех с запаздывающей погоней по частоте при асинхронном рабочем цикле их остановки, при условии достоверного определения контрольным приемником всех номиналов рабочих частот из группы  $M$  целей подавления.

## Заключение

Полученные результаты позволяют сделать выводы о том, что помехозащищенность линий радиосвязи КВ-диапазона является достаточно низкой при условии, когда рабочий цикл автоматизированной станции помех меньше скорости ППРЧ. В частности, вероятность подавления  $P_{\text{п}} = 0,4-0,6$  обеспечивается при достаточно скромных возможностях автоматизированной станции помех. При этом отметим, что в статье использовано ограничение, заключающееся в выполнении условия однозначного подавления линии радиосвязи при частотно-временном совпадении интервала излучения помехи и работы линии радиосвязи на подавляемой частоте.

Дальнейшее исследование авторы связывают с особенностями учета помехоустойчивого кодирования и особенностей сигнальных конструкций [19, 20], а также методов формирования сигналов в негармонических базисах [18].

## Список используемых источников

1. Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. М.: Радио и связь, 2000. 384 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. Тузов Г. И., Козлов М. Р. Помехозащищенность каналов связи с ППРЧ и кодированием в условиях помех в части полосы // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. Вып. 1. 1990. С. 18–24.
4. Агеев А.В. Исследование и разработка алгоритмов приема сигналов ППРЧ в каналах с памятью: дисс. ... канд. техн. наук: 05.12.13. Самара, 2009. 122 с.
5. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. и др. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. 264 с.
6. Каневский З.М., Литвиненко В.П. Теория скрытности. Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 1991. 144 с.
7. Дворников С.В. Проблема поиска сигналов источников информации при радиомониторинге // Мобильные системы. 2007. № 4. С. 33–35.
8. Дворников С.В. Метод обнаружения на основе посимвольного перемножения реализаций спектра наблюдаемого процесса с автоматическим расчетом порога принятия решения // Научное приборостроение. 2004. Т. 14. № 4. С. 92–97.
9. Дворников С.В., Ровчак А.Ю. Обнаружение сигналов на основе обработки спектральных компонент их функций взаимной корреляции // Информация и космос. 2010. № 4. С. 29–33.
10. Каргашин В.Л. Проблемы обнаружения и идентификации радиосигналов средств негласного контроля информации // Специальная техника. 2000. № 3–5.

11. 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.
12. Осипов А.С. Военно-техническая подготовка. Военно-технические основы построения средств и комплексов РЭП: учебник. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 344 с.
13. Вознюк М.А., Дворников С.В., Винокуров М.Е., Петросян А.П., Романенко П.Г. Работа линий радиосвязи с ППРЧ в условиях преднамеренных помех // Информационные технологии. 2012. № 10. С. 64–67.
14. Батурин Ю.О. и др. Состояние и направления развития методологии обоснования требований к технике радиоподавления систем радиосвязи // Радиотехника. 2010. № 6. С. 80–86.
15. Быков В.В. Универсальная классификация радиоэлектронных помех: в кн. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. В.Г. Радзиевского. М: Радиотехника, 2006. С. 12–18.
16. Анишин А.С., Батурин Ю.О., Васильев Д.И. Идентификация групп рабочих частот линий радиосвязи с программной перестройкой рабочей частоты // Радиотехника. 2006. № 6. С. 48–52.
17. Анишин А.С., Ложкин К.Ю. Характеристики адресного обслуживания скрытных объектов системой с ограниченным контролем // Радиотехника. 1999. № 6. С. 17–79.
18. Дворников С.В., Дворников С.С., Спирин А.М. Синтез манипулированных сигналов на основе вейвлет-функций // Информационные технологии. 2013. № 12. С. 52–55.
19. Дворников С.В., Устинов А.А., Дворников С.С., Ишин Д.М. Анализ эффективности блоковых кодов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2011. № 1. С. 63–73.
20. Гужва А.Ю., Дворников С.В., Русин А.А., Пшеничников А.В. Методика трансформации сигнального созвездия сигнала КАМ-16 с изменением его формы // Электросвязь. 2015. № 2. С. 28–31.

\* \* \*

## EVALUATION OF RADIOCOMMUNICATION LINES INTERFERENCE IN MODE WITH SLOW SOFTWARE SWITCHING OF THE RUNNING FREQUENCY

A. Gordeychuk<sup>1</sup>, S. Dvornikov<sup>1</sup>, V. Ivanof<sup>1</sup>, M. Rusinov<sup>1</sup>, M. Semisoshenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Telecommunications Military Academy,  
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

### Article info

Article in Russian

**For citation:** Gordeychuk A., Dvornikov S., Ivanof V., Rusinov M., Semisoshenko M. Evaluation of Radiocommunication Lines Interference in Mode with Slow Software Switching of the Running Frequency // Proceedings of Telecommunication Universities. 2017. Vol. 3. Iss. 4. PP. 36–42.

**Abstract:** *The results of the estimation of noise immunity of radio communication lines in the mode with slow programmable adjustment of the working frequency are presented. A probabilistic model of radio-suppression of radio-communication lines of the HF-range by means of aiming interference is considered. The conditions providing for their temporary concealment and noise immunity are determined.*

**Keywords:** *the slow-hopper mode, the setting of impact interference, radio link suppression model.*