

# ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ЛОЖНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Чуднов А. М.<sup>1</sup>, Курашев З. В.<sup>2</sup>

DOI:10.21681/3034-4050-2025-2-4-9

**Ключевые слова:** разведзащищенность, радиоизлучающие средства, ложные источники радиоизлучения, псевдоабоненты.

**Цель работы** заключается в разработке предложений, способствующих эффективному применению ложных источников радиоизлучений в процессе функционирования беспроводной сети передачи данных.

**Метод исследования:** Аналитический с использованием элементов теории множеств.

**Результаты исследования:** Рассмотренные в работе принципы и варианты использования ложных источников радиоизлучения, а также приведенные примеры их взаимодействия с объектами беспроводной сети передачи данных с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты свидетельствуют о возможности эффективного использования подсистемы ложных источников радиоизлучения в системе связи.

**Научная новизна** заключается в разработке способа адаптивной перестройки алгоритма псевдослучайной перестройки рабочей частоты позволяющей получить дополнительный выигрыш в эффективности функционирования радиолинии, который в зависимости от состояния случайных (взаимных) помех в выделенном диапазоне частот может составлять значительную величину.

## Введение

К связи обычно предъявляются требования по обеспечению безопасности, достоверности и своевременности обмена сообщениями пользователей системы. В роли пользователей систем ведомственной связи, как правило, выступают объекты системы управления как надсистемы системы связи. В системах ведомственной связи в силу ряда незаменимых достоинств широкое применение могут находить подсистемы беспроводной связи, наличие радиоизлучающих средств которых обеспечивает разведдоступность объектов, как самой системы связи, так и системы более высокого уровня иерархии для внешних систем. В ряде случаев разведдоступность источников электромагнитного излучения системы связи, с одной стороны, накладывает существенные ограничения на варианты и режимы их использования и, с другой, приводит к дополнительным рискам и потерям в процессе функционирования системы управления, которые связаны с нежелательными воздействиями внешних систем, интегрируемых в понятие противоборствующей стороны.

Разведзащищенность системы связи характеризует ее способность противостоять всем

видам разведки внешних систем. Из всех видов разведки, направленной на вскрытие системы связи, наиболее эффективной является радио-разведка, позволяющая в реальном масштабе времени определять местоположение, принадлежность радиоизлучающих средств, структуру системы управления и связи.

На практике в целях обеспечения требований по разведзащищенности системы связи и системы управления обычно предусматривается выполнение комплекса мероприятий, направленных на уменьшение вероятности вскрытия радиоизлучающих средств системы связи [1, с. 225; 2, с. 35], а именно: ограничение использования средств радиолокации и радиосвязи, работу на пониженной мощности, ограничение секторов при работе радиоизлучающих средств, частичное сокрытие рабочего диапазона волн радиотехнических средств, смену рабочих волн и позывных, вхождение в связь без позывных, созданием ложных радиосетей и направлений, а также проведением других специальных мероприятий.

Однако, как показывает анализ состояния и перспектив развития возможных

<sup>1</sup>Чуднов Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем специального назначения Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург. E-mail: chudnow@yandex.ru

<sup>2</sup>Курашев Заур Валерьевич, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательской лаборатории ФГБУ «16 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Минобороны России, Московская область, г. Мытищи. E-mail: Frankilou@yandex.ru

средств радиоразведки, меры, связанные с регламентацией режима работы радиопередатчиков и, в частности, с ограничением числа и/или длительности сеансов связи, оказываются малоэффективными с позиции повышения разведзащищенности, и в то же время приводят к существенным потерям эффективности функционирования системы связи. С учетом этого, а также опыта эксплуатации систем связи в условиях конфликтов следует признать, что одно из важнейших мест в обеспечении разведзащищенности систем беспроводной связи может занимать создание ложных объектов систем связи и пунктов управления, включающих ложные источники радиоизлучений (ЛИР).

В научно-технической литературе изучению принципов использования ЛИР в системах связи и управления уделено недостаточно внимания. Так, отсутствуют методы разработки и анализа эффективности систем связи, взаимодействующих с системами (включающих) ЛИР, позволяющие принимать обоснованные решения по определению их числа, типов, режимов функционирования и др. В то же время о практической потребности изучения отмеченных вопросов свидетельствует наличие технических разработок, предназначенных для имитации работы радиопередающих средств системы связи.

В настоящей работе ложные источники радиоизлучений, имитирующие работу передатчиков радиопередающих средств системы связи, называются также псевдоабонентами. Рассматриваются общие принципы их использования, приводится обоснование возможных различных вариантов построения и режимов функционирования. В общих чертах рассматривается принцип анализа и оптимизации системы связи с псевдоабонентами. Представлен пример работы радиопередающих средств системы связи с псевдослучайной перестройкой рабочих частот, функционирующих в условиях случайных и преднамеренных помех при взаимодействии с включенными в систему псевдоабонентами.

### **Требования к ЛИР.**

#### **Виды и варианты их использования**

Ложные источники радиоизлучений должны удовлетворять следующим требованиям:

1. С высокой степенью достоверности имитировать работу, функционирующих в системе связи и управления источников радиоизлучений. Совокупность псевдоабонентов должна имитировать работу совокупности радиопередающих средств системы (подсистемы) связи.
2. Не должны нарушать работоспособность или снижать эффективность функционирования

системы связи; функционирование ЛИР должно быть согласовано по режимам работы и параметрам излучаемых сигналов с режимами работы и параметрами сигналов, используемых в системе связи, чтобы не создавать помех средствам, линиям и комплексам связи.

3. Быть просто реализуемыми, обеспечивать возможность простой установки в местах предполагаемого размещения, простого ввода в действие и эксплуатации. Технические средства ЛИР должны иметь стоимость неизмеримо меньшую стоимости имитируемых объектов.
4. Не должны содержать информации, доступ к которой может быть использован для нарушения нормальной работы системы связи или нанесения ущерба объектам системы связи и системы управления.

Псевдоабоненты могут реализовываться в различных вариантах, предусматривающих различные режимы использования. Основные варианты отражены следующей классификацией.

Псевдоабоненты могут реализовываться в различных вариантах, предусматривающих различные режимы использования. Основные варианты отражены следующей классификацией.

Ложные источники радиоизлучений можно подразделить:

- ✓ по выполняемым функциям: передающие и приемопередающие;
- ✓ по принципу управления: автономные и управляемые по сигналам управляющих объектов;
- ✓ по методам принятия решений: анализирующие и неанализирующие частотный диапазон;
- ✓ по рабочему диапазону частот: КВ, УКВ; частотным характеристикам излучаемых сигналов;
- ✓ по кратности использования: разового и многократного использования;
- ✓ по месту использования: наземные, надводные, воздушные и т. д.;
- ✓ по способам доставки к месту установки: устанавливаемые и забрасываемые.

Более детально псевдоабоненты могут характеризоваться при конкретизации типа и места использования системы передачи информации. Так, при работе совокупности радиопередающих средств системы связи в режиме синхронного псевдослучайного переключения рабочих частот ЛИР могут функционировать либо синхронно на свободных частотно-временных позициях, либо асинхронно, например, в отдельном диапазоне частот, не пригодном для передачи информации.

Система управления для управляемых ЛИР может строиться по общим принципам построения систем управления распределенными объектами. Пункты управления псевдоабонентами могут совмещаться с пунктами управления системы связи. При этом управление системой псевдоабонентов может осуществляться с позиций обеспечения минимального уровня помех системе связи.

### Общие принципы оценки эффективности использования ЛИР

Выработка обоснованных решений по вариантам использования псевдоабонентов в составе системы связи, структуре подсистемы ЛИР, способам их взаимодействия с управляемыми объектами, режимам работы и параметрам излучаемых сигналов возможна лишь на основе применения методов анализа и оптимизации с использованием моделей, учитывающих влияние ЛИР как показатели разведзащищенности маскируемых объектов системы управления и системы связи, так и на показатели эффективности системы связи. Далее рассматривается общий подход к построению такого типа моделей и постановке задачи анализа и оптимизации.

Пусть некоторая формализованная модель системы связи обеспечивает оценку ее показателя эффективности функционирования в виде функционала:  $Q_{CC}(S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА})$ , где:  $S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА}$  — соответственно структура, алгоритм и ресурс подсистемы псевдоабонентов. Аналогичны функционал  $Q_{ПУ}(S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА})$ , может быть сформирован в рамках подходящей модели, учитывающей показатели разведзащищенности, и для объектов системы управления. Поскольку ЛИР имитируют средства радиоизлучений системы связи, то в практических ситуациях объекты модели  $S_{ПА}, A_{ПА}$  должны быть максимально согласованы с системой связи, при этом можно положить  $Q_{ПУ}(V_{ПА})$ . В таком случае при справедливости обобщенной оценки эффективности функционирования системы управления в виде  $Q_{СУ} = Q_{ПУ} Q_{CC}$  можно придти к оптимизационной задаче вида:

$$Q_{СУ}(S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА}) = Q_{ПУ}(V_{ПА}) Q_{CC}(S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА}) \rightarrow \max S_{ПА}, A_{ПА}, V_{ПА},$$

где оптимизация осуществляется во множестве допустимых (реализуемых) структур, алгоритмов и ресурса подсистемы псевдоабонентов.

Так, например, в частном случае, выделяя из общей задачи выбранный (обоснованный) вариант подсистемы с однотипными псевдоабонентами, можно получить оптимизационную задачу вида

$$Q_{ПУ}(V_{ПА}) Q_{CC}(V_{ПА}) \rightarrow \max V_{ПА},$$

направленную на отыскание оптимального ресурса подсистемы однотипных псевдоабонентов.

### Пример использования ЛИР в системе с ППРЧ

Для анализа возможностей использования псевдоабонентов в беспроводной сети передачи данных была проанализирована работа системы передачи информации с алгоритмом псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) в условиях случайных и преднамеренных помех [5, с. 35; 7, с.2; 8, с 104].

Это обусловлено тем, что, во-первых, для обеспечения помехозащищенности таких систем широко используются алгоритмы ППРЧ, во-вторых, в таких системах могут быть включены ПА в качестве абонентов или с особым алгоритмом, а в-третьих, этот режим является наиболее общим для анализа, так как другие варианты использования анализа являются частными по отношению к нему.

Особенность данной системы состоит в том, что приемником радиолинии анализируется помеховая ситуация в выделенном диапазоне частот, с учетом которой осуществляется адаптация параметров системы в процессе функционирования. Псевдоабоненты, включенные в состав такой системы связи, могут работать в режиме ППРЧ как синхронно на правах входящих в систему радиолиний (РЛ), так и асинхронно в выделенном для этого диапазоне частот. В зависимости от варианта использования определяются структура подсистемы ЛИР, способ их взаимодействия с управляемыми объектами, а также функциональный тип псевдоабонентов.

На основе методов, разработанных в [1, с 225], а также в работах [3, с. 71; 4, с. 142] для анализа процессов включения-выключения в систему связи псевдоабонентов рассмотрен предложенный в [6, с.249; 9, с 898] адаптивно-игровой алгоритм ППРЧ, основанный на использовании рекуррентных процедур настройки вероятностных и энергетических параметров режима ППРЧ. В отличие от адаптивно-игрового подхода, требующего для осуществления каждой перестройки при изменении условий функционирования нахождение равновесных ситуаций, предложенный в [1, с. 38] алгоритм настраивается (перестраивается) в процессе функционирования. Определение параметров режима ППРЧ для совокупности радиолиний осуществляется управляющим объектом с учетом состояния среды распространения сигналов и помех в выделенном диапазоне частот. Данные о новом режиме ППРЧ передаются от управляющего объекта всем РЛ и ЛИР и вводятся в действие синхронно в определенный момент времени.

В таблице представлены результаты анализа вероятности ошибки в системе в режимах перестройки а) включении преднамеренных помех; б) выключении преднамеренных помех при различных значениях числа выделенных частот  $n$  и средней (приходящейся на одну частоту) мощности оптимизированной пред-

намеренной помехи ( $\delta_{cp}$  — отношение помеха/сигнал в точке приема). Как видно, в рассмотренных случаях процедура обеспечивает быструю сходимость адаптивного алгоритма ППРЧ к оптимальному. При увеличении числа рабочих частот сходимость процедуры несколько ухудшается.

Таблица 1 — Вероятность ошибочного приема двоичного символа в процессе настройки радиолинии при включении (процесс «а») и выключении (процесс «б») источника помехи

$n, \delta_{cp}$	Процесс	№ шага							
		0	4	8	12	16	20	24	$\infty$
$\delta_{cp} = 0,01$ $n = 10$	a	1,9E-02	1,0E-02	6,7E-03	5,0E-03	4,2E-03	4,2E-03	4,2E-03	4,2E-03
	b	4,5E-04	2,0E-04	9,7E-05	6,5E-05	6,2E-05	6,2E-05	6,2E-05	6,2E-05
$\delta_{cp} = 0,01$ $n = 100$	a	1,7E-01	9,0E-02	4,9E-02	2,8E-02	1,9E-02	1,4E-02	1,2E-02	1,1E-02
	b	1,5E-04	1,2E-04	1,0E-04	8,5E-05	7,4E-05	6,7E-05	6,3E-05	6,2E-05
$\delta_{cp} = 0,04$ $n = 10$	a	7,5E-02	4,1E-02	2,7E-02	2,0E-02	1,7E-02	1,6E-02	1,6E-02	1,6E-02
	b	1,5E-03	7,7E-04	2,7E-04	1,6E-04	1,6E-04	1,6E-04	1,6E-04	1,6E-04
$\delta_{cp} = 0,04$ $n = 100$	a	3,1E-01	2,1E-01	1,4E-01	9,9E-02	7,3E-02	5,8E-02	5,0E-02	4,3E-02
	b	4,0E-04	3,2E-04	2,6E-04	2,2E-04	1,9E-04	1,7E-04	1,6E-04	1,6E-04

Предложенный способ адаптивной перестройки алгоритма ППРЧ позволяет получить дополнительный выигрыш в эффективности функционирования радиолинии, который в зависимости от состояния случайных (взаимных) помех в выделенном диапазоне частот может составлять значительную величину.

Следует отметить, что как при синхронной работе ЛИР в системе с ППРЧ, так и при асинхронной за счет использования соответствующих методов управления можно обеспечить эффективное функционирование системы связи с включенными псевдоабонентами. Общее число РЛ и ЛИР может быть доведено до числа выделенных независимых частот  $n$ , и при этом можно обеспечить такую же помехозащищенность РЛ, как и без включенных в систему ЛИР.

Итерационные процедуры поиска равновесных ситуаций, с одной стороны, обеспечивают возможность анализа эффективности подобных адаптивных алгоритмов и, с другой, могут непосредственно использоваться для управления режимами работы радиолинии в процессе ее функционирования. В последнем случае для

управления радиолинией в реальном времени при наличии большого числа выделенных частот, по-видимому, потребуются оптимизация процедуры поиска равновесных ситуаций подходящими методами оптимизации в рамках теории игр.

### Заключение

Применение ложных источников радиозлучений представляет собой один из важных способов радиомаскировки систем связи и пунктов управления и обеспечения требований, предъявляемых к ним по разведзащищенности. Эффективное использование ЛИР возможно на основе решения оптимизационных задач с использованием адекватных моделей, учитывающих различные аспекты функционирования подсистемы ЛИР в системе связи.

Рассмотренные в работе принципы и варианты использования ЛИР, а также приведенные примеры их взаимодействия с объектами беспроводной сети передачи данных с ППРЧ свидетельствуют о возможности эффективного использования подсистемы ЛИР в системе связи.

### Литература

1. Чуднов, А.М., Орлова А.А. Настройка алгоритма переключения рабочих частот радиолинии, функционирующей в условиях случайных и преднамеренных помех // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: Труды IX Межвузовской научно-практической конференции: Сборник материалов, Санкт-Петербург, 2024. – С. 225–229.
2. Блинов П.В., Юрченко С. П. Помехозащищенность радиолинии с межсимвольной ППРЧ в условиях помех // Охрана, безопасность, связь, 2020, № 5-3 – С. 35–39.
3. Чуднов А.М., Кичко Я.В. Анализ помехозащищенности системы обмена данными группы робототехнических объектов // Экстремальная робототехника. 2024, № 1 (34) – С. 71–76.
4. Бестугин А.Р., Дворников С.В., Дворников С.С., Киршина И.А., Селиванов С.В. Помехозащищенность абонентских терминалов малых спутниковых станций в режиме телефонии // Радиотехника. 2024. Т.88. № 4. С.142-148.
5. Блинов П.В., Юрченко С.П. Помехозащищенность радиолинии с межсимвольной ППРЧ в условиях помех. 2020. № 5–3. С. 35–39.
6. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки // Монография. 2020. 337 с.
7. Генов А.А., Слепых А.А., Сухов А.В., Филатов В.И. Оценка воздействий случайных и преднамеренных помех на систему передачи данных с когнитивным псевдослучайным переключением рабочих частот // Журнал радиоэлектроники. – 2023. – № 11.
8. 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.
9. Беккиев А.Ю., Борисов В.И. Оценка помехозащищенности каналов радиосвязи в условиях действия помех от средств радиоэлектронной борьбы// Радиотехника и электроника, 2019 – Т. 64, № 9, – С. 891-901.

## PRINCIPLES OF OPERATION OF A WIRELESS DATA TRANSMISSION NETWORK WITH FALSE SOURCES OF RADIO EMISSION

Chudnov A. M.<sup>1</sup>, Kurashev Z.V.<sup>2</sup>

**Keywords:** intelligence protection, radio-emitting means, false sources of radio radiation, pseudo-subscribers.

**The purpose of the work** is to develop proposals that contribute to the effective use of false sources of radio emissions in the process of functioning of a wireless data transmission network.

**Research method:** analytical with the use of elements of set theory.

**Results:** the principles and options for the use of false radio emission sources considered in the work, as well as the examples of their interaction with objects of the wireless data transmission network with pseudorandom tuning of the operating frequency indicate the possibility of effective use of the subsystem of false radio emission sources in the communication system.

**The scientific novelty** lies in the development of a method for adaptive rearrangement of the algorithm of pseudorandom tuning of the operating frequency, which allows obtaining an additional gain in the efficiency of the radio link functioning, which, depending on the state of random (mutual) interference in the allocated frequency range, can be a significant value.

### References

1. Chudnov, A.M., Orlova A.A. Nastrojka algoritma perekljucheniya rabochnih chastot radiolinii, funkcionirujushhej v uslovijah sluchajnyh i prednamerennyh pomeh // Problemy tehničeskogo obespečenija vojsk v sovremennyh uslovijah: Trudy IX Mezhvuzovskoj nauchno-praktičeskoi konferencii: Sbornik materialov, Sankt-Peterburg, 2024. – S. 225–229.

<sup>1</sup>Alexander M. Chudnov, Dr.Sc. of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Special Purpose Systems of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg. E-mail: chudnow@yandex.ru

<sup>2</sup>Zaur V. Kurashhev, Ph.D., Head of the Research Laboratory of the 16th Central Research and Testing Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow Region, Mytishchi. E-mail: Frankilou@yandex.ru

2. Blinov P.V., Jurchenko S. P. Pomehozashhishhennost' radiolinii s mezhsimvol'noj PPRCh v uslovijah pomeh // Ohrana, bezopasnost', svjaz', 2020, № 5-3 – S. 35–39.
3. Chudnov A.M., Kichko Ja.V. Analiz pomehozashhishhennosti sistemy obmena dannymi grupy robototekhnicheskikh ob#ektov // Jekstremal'naja robototekhnika. 2024, № 1 (34) – S. 71–76.
4. Bestugin A.R., Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Kirshina I.A., Selivanov S.V. Pomehozashhishhennost' abonentских terminalov malyh sputnikovyh stancij v rezhime telefonii // Radiotekhnika. 2024. T.88. № 4. S.142-148.
5. Blinov P.V., Jurchenko S.P. Pomehozashhishhennost' radiolinii s mezhsimvol'noj PPRCh v uslovijah pomeh. 2020. № 5–3. S. 35–39.
6. Makarenko S.I. Modeli sistemy svjazi v uslovijah prednamerennyh destabilizirujushhijh vozdeystvij i vedenija razvedki // Monografija. 2020. 337 s.
7. Genov A.A., Slepjy A.A., Suhov A.V., Filatov V.I. Ocenka vozdeystvij sluchajnyh i prednamerennyh pomeh na sistemu peredachi dannyh s kognitivnym psevdosluchajnym pereklyucheniem rabochijh chastot // Zhurnal radioelektroniki. – 2023. – № 11.
8. Pshenichnikov A.V., Gordejchuk A.Ju. Upravlenie chastotno-vremennym resursom pomehozashhishhennyh linij radiosvjazi s programmnoj perestrojkoj rabochej chastoty// Voprosy radioelektroniki. Serija: Tehnika televidenija. – 2020. – № 1. – S. 104–108.
9. Bekkiev A.Ju., Borisov V.I. Ocenka pomehozashhishhennosti kanalov radiosvjazi v uslovijah dejstvija pomeh ot sredstv radioelektronnoj bor'by// Radiotekhnika i jelektronika, 2019 – T. 64, № 9, – S. 891-901.

