#### Модель деструктивного воздействия когнитивного характера

#### Cognitive destruction effect model

### Дворников / Dvornikov S.

Сергей Викторович

(practicdsv@yandex.ru)

доктор технических наук, профессор.

ФГКВОУ ВО «Военная академия связи

имени Маршала Советского Союза

С. М. Буденного» МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного), профессор кафедры радиосвязи.

г. Санкт-Петербург

#### Пшеничников / Pshenichnikov A.

Александр Викторович

(siracooz77@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент.

ВАС им. С. М. Буденного,

докторант кафедры радиосвязи.

г. Санкт-Петербург

#### Аванесов / Avanesov М.

Михаил Юрьевич

(avanesov@itain.ru)

кандидат технических наук.

ЗАО «Институт телекоммуникаций»,

научный секретарь.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: линия радиосвязи — radio communication line; квазинепрерывный режим — quasi-continuous operation; оценка эффективности — performance evaluation.

Разработана модель деструктивного когнитивного воздействия. Особенность модели заключается в перераспределение функций принятия решения между различными уровням иерархий в целях динамического изменения параметров воздействия. В качестве системоообразующей выбрана система All Sources Analysis System, наделенная функциями управления потоками информации. Разработан подход к оценке эффективности функционирования линий радиосвязи в условиях деструктивного когнитивного воздействия, основанный на изменении параметров квазинепрерывного процесса функционирования разработанной модели.

The Cognitive destruction effect model has been developed. The distractive feature of the model is the redistribution of decision-making functions among different hierarchic levels in order to introduce dynamic changes in impact parameters. The All Sources Analysis System with its data flow control functions has been selected as the backbone network. The authors have developed the performance evaluation procedure for radio communication lines exposed to the destructive cognitive effect. This procedure is based on the variation of the developed model's functioning quasi-continuous process parameters.

Техническое развитие сферы информационных услуг способствовало существенному расширению рынка телекоммуникационных устройств. В результате в свободном доступе оказались и радиоэлектронные системы (РЭС), обеспечивающие прием и передачу информации по радиоканалам [1].

Указанные обстоятельства стимулировали систему радиоконтроля (СРК) к поиску эффективных мер по противодействию нелегитимного использования радиоресурса, не исключающих и деструктивного воздействия (ДВ) на несанкционированные линии радиосвязи [2, 3].

Вместе с тем в настоящее время рынок предоставляет коммерческим организациям и частным лицам РЭС, в которых предусмотрен режим передачи информации с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).

При этом режим ППРЧ обеспечивает не только помехозащищенность, но и дополнительную скрытность организуемых с его использованием линиям радиосвязи, что затрудняет локализацию источников радиоизлучений на общем фоне в насыщенной сигнальнопомеховой обстановке [4–6].

В таких условиях успешное решение задач, возложенных на СРК, возможно только при значительных временных и технико-экономических затратах, поскольку существующий ресурс подсистемы деструктивного воздействия (ПДВ) изначально предполагает работу в дуэльной ситуации с РЭС [7].

22

Таким образом, необходима разработка научнометодического аппарата (НМА), позволяющего синтезировать ПДВ на новых принципах, в том числе когнитивного характера.

В дальнейшем под когнитивным характером будем понимать способность системы принимать решение каждый раз по результатам проведенного анализа на основе качественного преобразования информации об объекте.

При этом принятое решение по своей сути не является строго детерминированным, позволяющим построение однозначной алгоритмической взаимосвязи между воздействием (результатом анализа) и реакцией системы (последействием).

Другими словами, когнитивное решение исходит из парадигмы нестационарности воздействия, исключающего возможность четкой локализации границ принятия решения при распределении ограниченного ресурса, выделяемого системе, как продукта реакции на указанное воздействие.

Аналогом определения такого подхода явилась концепция «когнитивного радио», согласно которой формирование параметров РЭС исходит из результатов оценки сигнально-помеховой обстановки.

В качестве прототипа системы с возможностью принятия когнитивных решений следует рассматривать систему армии США ASAS (All sources analysis system), увеличение качественных возможностей которой в настоящее время направлено на распределение функций управления и принятия решения между отдельными иерархиями сложной системы [8]. Как интегрирующая, система ASAS наделена функциями анализа информации, поступающей от ПДВ, и ее распределения в соответствии с уровнями иерархии в масштабе времени близком к реальному.

Таким образом, структурно-функциональную модель когнитивного деструктивного воздействия можно представить на основе трех уровней иерархии, см. рис. 1.

Элементы системы ASAS, включенные в предлагаемую модель, обеспечивают управление ПДВ в соответствии с формируемыми функциями  $\lambda_1(t) - \lambda_i(t)$  (i=1...I, где I — количество ПДВ), характеризующих распределение ресурсов.

При этом области определения функций  $\lambda_{\rm l}(t)-\lambda_{\rm i}(t)$  входят в область значений функции  $\eta(t)$ , характеризующей полную функцию управления сложной системы деструктивного воздействия.

Свойства когнитивного воздействия в предлагаемой модели заключаются в динамическом изменении параметров функций управления, которые проявляются на различных уровнях иерархий принятия решения в зависимости от качественного изменения информации об объекте.

Элементы модели являются сложными системами и также реализуют функции принятия решений, входящими в область определения полной функции управления.

Для дальнейшей формализации функциональной модели когнитивного деструктивного воздействия ограничим первый этап получения информации о РЭС функциями анализа (radio intelligence) источников радиоизлучения (ИРИ), включающий поиск источников (search source), обнаружение (detection), определение местоположения (location) (рис. 2). Здесь и далее понятия представлены в соответствии с подходом, изложенными в [9, 10].

На втором этапе реализуются функции деструктивного воздействия ПДВ (radio supression) на ИРИ в соответствии с принятым на первом этапе решением.

На следующих временных интервалах осуществляются циклы экспресс-анализа (surveillance) контроли-

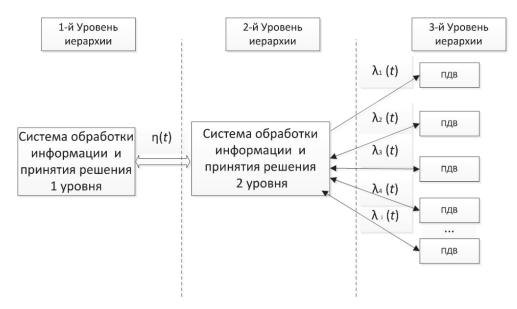


Рис. 1. Обобщенная модель когнитивного деструктивного воздействия

руемых частот, дообнаружение (resurvey) ИРИ, включающий анализ параметров ИРИ, определение новых ИРИ, классификацию параметров по имеющейся базе, принятие решения на перераспределение ресурсов (см. рис. 2).

В представленной функциональной модели длительность циклов контроля и экспресс-анализа существенно меньше совокупного цикла деструктивного воздействия. Однако указанный цикл разбит на интервалы, так называемые таймслоты, в соответствии с методологией, представленной в [9, 10].

Именно параметры таймслотов определяют эффективность ПДВ. С одной стороны, их длительность должна быть минимальной для гибкости в распределении имеющегося ограниченного ресурса деструктивного воздействия, а с другой — достаточной для оказания деструктивных последствий на ИРИ. На практике длительности цикла могут выбираться исходя из параметров обслуживаемой линии радиосвязи [6, 13].

Таким образом, предложенная модель обеспечивает рациональное распределение ограниченного деструктивного ресурса в квазинепрерывном режиме на n частотах в выделенных таймслотах.

Учитывая, что ПДВ функционируют в соответствии с характером ответной реакции, системы передачи информации, представленной совокупностью линий радиосвязи (ЛРС). При этом ресурс системы передачи информации существенно превосходит возможности

системы деструктивных воздействий при ее работе в дуэльной ситуации, особенности которой достаточно полно рассмотрены в [11, 12].

Таким образом, возможность динамического управления ресурсами ПДВ на основе апостериорных знаний реализует принцип деструктивного воздействия, имеющего когнитивный характер.

Предложенная модель, реализующая деструктивное воздействие когнитивного характера, ограничивает область применения известных методов по оценке эффективности функционирования ЛРС [13, 14].

Выделенная область исследований отражена в достаточно большом количестве работ. В частности, в [4] предложены подходы к моделированию и оценке эффективности элементов помехозащищенных ЛРС в конфликтной ситуации.

В монографиях [14, 15] исследована эффективность различных режимов помехозащиты линий радиосвязи. Теоретические основы формирования помехозащищенных сигнальных конструкций представлены в [16, 17]. В работах [18–20] отражены результаты оценки помехозащищенности при воздействии помех в части полосы.

Для разработки НМА ДВ уточним методы оценки эффективности функционирования ЛРС в граничных условиях воздействия разработанной модели ПДВ когнитивного характера.

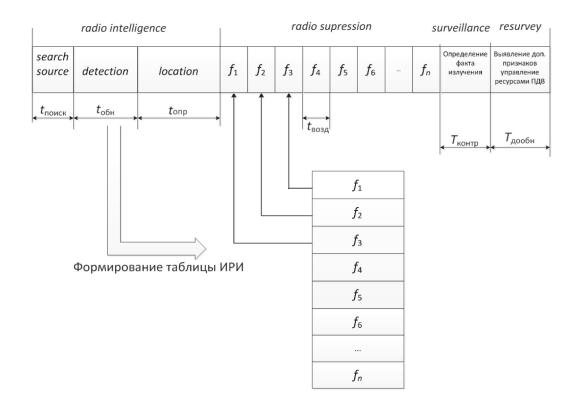


Рис. 2. Функциональная модель деструктивного воздействия когнитивного характера

Ограничим функциональную модель ЛРС алгоритмами технической реализации режимов ППРЧ с равномерным законом использования частотного ресурса.

Для решения формализованной таким образом задачи определим вероятность деструктивного воздействия в пределах излучения РЭС на частоте  $P_{\pi}$ , то есть вероятностью такого события, при котором в произвольный момент времени на интервале радиоизлучения т. осуществляется деструктивное воздействие, которое снижает требуемые показатели эффективности функционирования ЛРС.

Выбранный показатель  $P_{\Pi}$  для разработанной модели деструктивного воздействия представим в виде [21]:

$$P_{_{\Pi}} = P_{_{t}} \{ \tau_{_{c}}, T_{_{\Pi}} \} \times P_{_{f}} \{ M, M_{_{f}}, P_{_{k}} \}, \qquad (1)$$

где  $P_{t}\{\tau_{c}, T_{n}\}$  — вероятность совпадения временного интервала радиоизлучения тес интервалом деструктивного воздействия  $T_{\Pi}$  на заданной частоте;  $P_f\{M, M_r, P_k\}$  вероятность временного совпадения деструктивного воздействия на текущей частоте работы линии радиосвязи, которая зависит от размера группы рабочих частот, определенной ПДВ  $M_r$  в полной группе рабочих частот M, используемых для работы ЛРС ( $M_r \le M$ ), а также от вероятности правильного определения номинала текущей рабочей частоты  $P_k$  (из числа  $M_r$ ) за время обнаружения τ∆.

Длительность деструктивного воздействия когнитивного характера, в свою очередь, определим длительностью интервала рабочего цикла  $T_{\rm II}$ , выделяемого ПДВ [11]:

$$T_{\Pi} = T_{\Pi} - \tau_{\Delta}. \tag{2}$$

Вероятность  $P_f$  представим в виде:

$$P_f = \frac{M_r}{M} P_k, M_r \le M. \tag{3}$$

Отношение  $M_r/M$  характеризует полноту априорной

Указанное отношение в [11, 12] определено с позиций вероятности обнаружения полноты группы рабочих частот  $P_{M} = M_{r} / M$ . С учетом представленных выражений [22]:

$$P_{\Pi} = P_t \times P_M \times P_k. \tag{4}$$

В ассинхронизме цикла «контроль-воздействие» контроль за сменой рабочих частот ЛРС с ППРЧ осуществляется на временном интервале surveillance функциональной модели деструктивного воздействия (см. рис. 2).

Проанализируем выражение (4) с позиций вероятности совпадения интервала деструктивного воздействия и времени излучения ЛРС.

Данный показатель представим отношением средней длительности совпадения по частоте и времени излучения ЛРС и деструктивного воздействия к длительности излучения:

$$P_{t} = \frac{\tau_{c} - \sum_{i=1}^{N} \Delta t_{i}}{\tau_{c}},$$
(5)

где  $\Delta t_i$  — отрезки временного интервала  $\tau_{\rm c}$ , не совпадающие с воздействием; N — среднее количество интервалов несовпадения на длительности излучения JPC  $\tau_c$ 

В [3] указанный процесс представлен в виде диаграмм (см. рис. 3), характеризующих процесс воздействия при несовпадении циклов ПДВ и ЛРС. Интервалы, подверженные воздействию, отмечены темным цветом.

В соответствии с представленными диаграммами можно сделать следующее заключение. Максимальное значение вероятности  $P_t$  обеспечивается при накоплении информации о полном списке номиналов группы рабочих частот ЛРС с ППРЧ ( $M_r = M$ ) и условии их достоверного обнаружения ( $P_k = 1$ ).

Для анализируемого режима воздействия длительинформации о номиналах частот радиолинии с ППРЧ иость интервала случайного запаздывания ПДВ  $\Delta t_1$ 

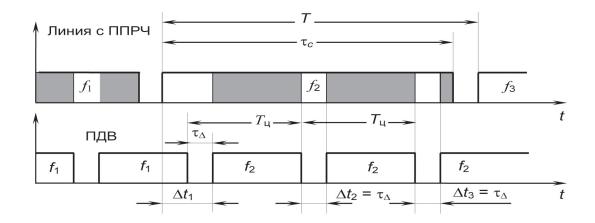


Рис. 3. Временные диаграммы процесса деструктивного воздействия на ЛРС

равномерно распределена на всем интервале  $T_{\text{\tiny II}} - \tau_{\scriptscriptstyle \Delta} .$  В иннии радиосвязи с ППРЧ за время меньшее, чем  $\tau_{\scriptscriptstyle A}$ этом случае среднюю величину запаздывания  $\overline{\Delta t}$ , примем равной половине длительности цикла «контроль-воздействие» без учета интервала обнаружения  $(T_{\parallel} - \tau_{\wedge})/2$ .

В то же время, согласно [21], все последующие значения  $\Delta t_i$ , i=2,3,...,N определяются только числом интервалов то, помещающихся на оставшемся промежутке времени длительности излучения  $\mathrm{JPC}\,\tau_{\mathrm{c}}$  и без учета значения  $(T_{_{\parallel}} - \tau_{_{\Lambda}})/2$  могут быть представлены выражением:

$$\sum_{i=2}^{N} \Delta t_i = \frac{\tau_c - \frac{T_u - \tau_\Delta}{2}}{T_u} \tau_\Delta. \tag{6}$$

С учетом (6), выражение (5) представим в виде:

$$P_{t} = \frac{\tau_{c} - \Delta t_{1} - \sum_{i=2}^{N} \Delta t_{i}}{\tau_{c}} = 1 - \frac{(T_{u} - \tau_{\Delta})}{2\tau_{c}} - \frac{\tau_{\Delta}}{T_{u}} + \frac{T_{u}\tau_{\Delta} - \tau_{\Delta}\tau_{\Delta}}{2T_{u}\tau_{c}}, \quad \tau_{c} > T_{u}.$$

$$(7)$$

По своей сущности параметр  $\tau_{_{\Lambda}}$  представляет время функционирования ПДВ в цикле «контроль – воздей-

Тогда величину среднего количества пауз N представим как функцию показателя

При этом для заданных значений  $\tau_{\rm c}$ ,  $T_{\rm II}$  и  $\tau_{\scriptscriptstyle A}$  в условиях невозможности обнаружения текущей частоты

показатель (5) будет примет вид [11, 12]:

$$P_{t}(\gamma) = 1 - \frac{1}{2\gamma} + \frac{\tau_{\Delta}}{\tau_{c}} - \frac{\tau_{\Delta}}{T_{u}} - \frac{\tau_{\Delta}\tau_{\Delta}}{2\tau_{c}T_{u}}, \quad \tau_{c} > T_{u}.$$
(8)

Решение уравнения (8) зависит от величины τ<sub>с</sub> при точном определении значения т .. При такой неопределенности сложно получить наглядные зависимости, характеризующие показатель  $P_t$ , поэтому в [6,11] предложено длительность цикла  $T_{\rm II}$  рассматривать как функцию интервала обнаружения  $k=T_{\Pi}/\tau_{\Delta}$ . С учетом сделанных замечаний, выражение (8) преобразуем к виду:

$$P_{t}(\gamma, k) = 1 - \frac{1}{2\gamma} + \frac{1}{\gamma k} - \frac{1}{k} - \frac{1}{2\gamma k^{2}}, \quad \tau_{c} > T_{u}.$$
 (9)

С учетом квазинепрерывной модели деструктивного воздействия, представленной на рис. 2, значение к в (9) зависит от величины таймслотов единичного деструктивного воздействия и:

$$P_{t}(\gamma, k, n) = 1 - \frac{1}{2\gamma} + \frac{n}{\gamma k} - \frac{n}{k} - \frac{n^{2}}{2\gamma k^{2}}, \quad \tau_{c} > T_{u}.$$
 (10)

Заметим, что когнитивный характер для модели как раз и будут определять таймслоты n, поскольку от условий реакции ЛРС и уровня ее приоритета, при последующем цикле ДВ на нее может выделяться от 1 таймслота до всего интервала radio supression.

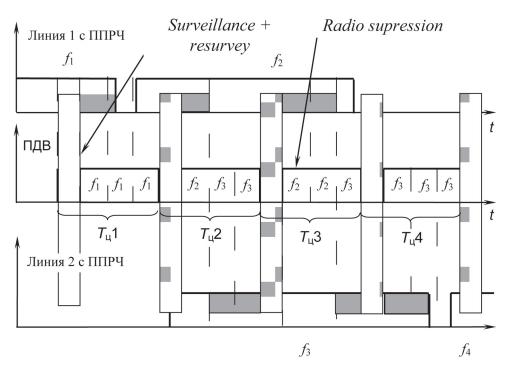
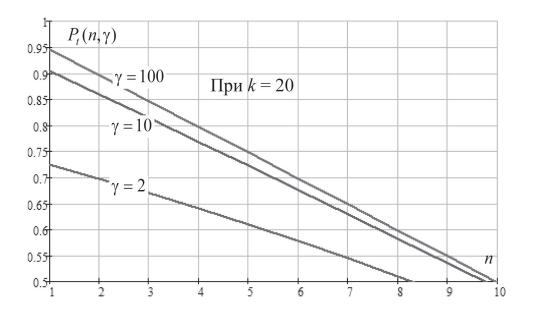
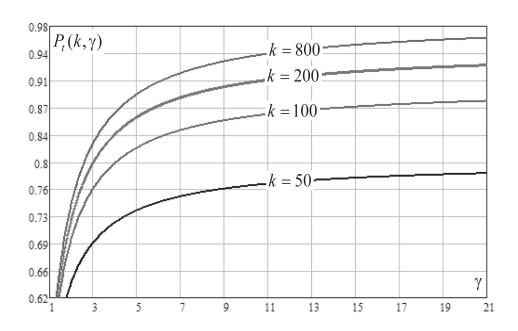


Рис. 4. Временные диаграммы процесса деструктивного воздействия на ЛРС





 $Puc.\ 6.\ 3$ ависимость вероятности совпадения по времени от показателя  $\$  при различных значениях  $\ k$ 

На рис. 4 представлены временные диаграммы, поясняющие принцип ДВ с когнитивным характером. В частности, показан пример одного из вариантов воздействия ПДВ на две ЛРС, работающие в режиме ППРЧ.

На рис. 4 изображено 4 цикла ( $radio\ supression$ ) с реализацией ДВ на трех частотах. Так, на первом цикле весь ресурс был распределен на ЛРС 1, работа которой велась на частоте  $f_1$ . На втором и третьем циклах была обнаружена работа ЛРС 1 на частоте  $f_2$  и ЛРС 2 на частоте  $f_3$ . Ресурс ДВ был распределен по обнаруженным частотам. На четвертом цикле ЛРС 1 прекратила работу, и весь ресурс ДВ был направлен на ЛРС 2, работающую на частоте  $f_4$ .

Следует отметить, что предложенный метод имеет определенную общность с алгоритмом, представленном в [9]. Однако в основе известного подхода лежит стратегия дуэльной ситуации с ЛРС, то есть, в детерминированном числе таймслотов ДВ, выделяемых на одну частоту в цикле radio supression.

В предложенной модели число выделяемых таймслотов каждый раз вариативно и зависит от реакции объекта ДВ.

Для оценки возможностей разработанной модели на рис. 5 представлен график зависимости вероятности ДВ от числа выделяемых таймслотов, построенный в соответствии с выражением (10).

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение. Временное совпадение ДВ с вероятностью 0,5 будет обеспечено с 10 ЛРС, при условии, что цикл Surveillance + resurvey составит всего лишь 5% от цикла radio suppression.

При этом вероятность совпадения очень слабо зависит от соотношений скорости ППРЧ и времени реакции ПДВ.

В подтверждении на рис. 6 показана зависимость  $P_t$ от  $\gamma$  при различных значениях k и n=10.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что даже при незначительных показателях k и  $\gamma$  обеспечивается ДВ с приемлемой вероятностью.

Применение предложенной модели позволит СРК обеспечить решение задач блокирования несанкционированных ЛРС с ППРЧ при существенном ограничении на имеющийся энергетический ресурс (при условии, что временного контакта с сигналами ППРЧ будет достаточно для нанесения требуемого деструктивного урона, приводящего к нарушению работы ЛРС).

Направления дальнейших исследований авторы связывают с уточнением параметров разработанной модели когнитивного деструктивного воздействия, подходов к оценке эффективности функциональных моделей ЛРС при динамической стратегии ПДВ на ЛРС, использующих энергетически скрытные сигналы [23].

#### Литература

1. Овчинников, А. М. УКВ радиостанции для скрытого ношения / А.М. Овчинников // Специальная Техника. – 1998. – № 2. – С. 31–37.

- 2. Каргашин, В. Л. Проблемы обнаружения и идентификации радиосигналов средств негласного контроля / В.Л. Каргашин // Специальная техника. -2000. -№ 3. C. 22-29; № 4. C. 45-53; № 5. C. 101-112.
- 3. Работа линий радиосвязи с ППРЧ в условиях преднамеренных помех / М.А. Вознюк [и др.] // Информационные технологии. -2012. -№ 10. -C. 64-67.
- 4. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов [и др.]. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
- 5. Каневский, З. М. Теория скрытности / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко. Воронеж: Воронежский государственный университет, 1991. 144 с.
- 6. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи с медленной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты / С.В. Дворников [и др.] // Информация и Космос. 2016.  $N_{\rm P}$  4. С. 11—14.
- 7. Состояние и направления развития методологии обоснования требований к технике радиоподавления систем радиосвязи / Ю.О. Батурин // Радиотехника. 2010.  $N_{\odot}$  6. С. 81—86.
- 8. Гаврилов, А. В. Автоматизированная система сбора, обработки и распределения разведывательной информации СВ США DCCG-А / А.В. Гаврилов // Зарубежное военное обозрение. 2010. № 7. С. 32—40.
- 9. Павловский, М. В. Имитационное моделирование информационного конфликта сложных эргатических систем: динамика загрузки сторон / М.В. Павловский, Н.А. Тюкачев // Вестник ВГУ: серия системный анализ и информационные технологии. -2015. N 4. C. 12-21.
- 10. Aristeidis Dalakos. Performance evaluation of the AN /USQ -146 jammer over uncoded slow fh/mfsk military communication systems and the IEEE 802.11a wireless LAN commercial communication standard. 2003–09.
- 11. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты / С.В. Дворников [и др.] // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3, N 4. С. 36–42.
- 12. Анишин, А. С. Идентификация групп рабочих частот линий радиосвязи с программной перестройкой рабочей частоты / А.С. Анишин, Ю.О. Батурин, Д.И. Васильев / Радиотехника. 2006. N 6. С. 34 42.
- 13. Пшеничников, А. В. Интегральная модель радиолинии в конфликтной ситуации / А.В. Пшеничников // Информация и Космос. 2016. № 4. С. 39—45.
- 14. Макаренко, С. И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: Монография / С.И. Макаренко, М.С. Иванов, С.А. Попов. СПб.: Свое издательство, 2013.-166 с.
- 15. Пшеничников, А. В. Модели и методы помехозащиты радиолиний: монография / А.В. Пшеничников СПб.: ВАС, 2017. 136 с.
- 16. Теоретическое обоснование синтеза ансамбля биортогональных сигналов с повышенной помехоустойчивостью / С.В. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. -2015. -№ 5 (22). С. 16-20.

28

- 17. Спектрально-эффективные сигналы с непрерывной фазой / С.В. Дворников [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. -2016. Т. 12, № 2. С. 87-93.
- 18. Тузов, Г. И. Помехозащищенность каналов связи с ППРЧ и кодированием в условиях помех в части полосы / Г.И. Тузов, М.Р. Козлов // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. 1990. Вып. 1. С. 18—24.
- 20. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов [и др.] ; под ред. Г.И. Тузова. М.: Радио и связь, 1985.-264 с.
- 21. Анишин, А. С. Характеристики адресного обслуживания скрытных объектов системой с ограниченным контролем / А.С. Анишин, К.Ю. Ложкин // Радиотехника. 1999. N 0. C. 67 79.
- 22. Аналитический аппарат поиска сигналов с ППРЧ / С.В. Дворников [и др.] // Теория и техника радиосвязи. 2017. N  $\underline{0}$  4. С. 38 43.
- 23. Дворников, С. В. Энергетическая скрытность сигналов ППРЧ, сформированных в базисах функций сплайнхарактеров / С.В. Дворников, С.С. Тихонов, А.М. Кудрявцев // Информация и Космос. -2017. -№ 2. -C. 35-41.