

УДК 656.25, 621.391.82

НОВЫЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ СИГНАЛЫ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАНАЛА ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Волынская А.В., Калинин П.М.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»,
Екатеринбург, e-mail: Anna-Volinskaya@mail.ru

Приведены новые, найденные путем математического моделирования, псевдослучайные кодовые последовательности с квазиидеальной автокорреляционной функцией, длина которых значительно больше тринадцати. Ослабив требования к величине отрицательных пиков автокорреляционной функции, удалось найти еще десять сигналов, у которых отношение высоты главного пика автокорреляционной функции к положительным боковым равно длине последовательности (как и у сигналов Баркера). Так, у сигнала длиной сто двадцать один элемент это отношение равно ста двадцати одному, в сравнении с тринадцатью. В программной среде LabVIEW проведено исследование помехоустойчивости новых последовательностей. Сигналы систем автоматики, телемеханики и связи, сформированные в соответствии с найденными последовательностями, могут быть надежно выделены из помех, во много раз более мощных, чем сами сигналы. Такие сигналы могут одинаково успешно применяться и для передачи команд, и для надежной синхронизации.

Ключевые слова: надежность, помехоустойчивость, широкополосные сигналы, коды Баркера

NEW NOISEPROOF SIGNALS FOR THE INTELLECTUAL CHANNEL OF TELEMCHANICS

Volynskaya A.V., Kalinin P.M.

Ural state university of railway transport, Ekaterinburg, e-mail: Anna-Volinskaya@mail.ru

Pseudo-casual code sequences with the quasiideal autocorrelation function, which length much more thirteen are given new, found by mathematical modeling. Having weakened requirements to size of negative peaks of autocorrelation function, it was possible to find ten more signals at which the relation of height of the main peak of autocorrelation function to positive lateral is equal to length of sequence (as well as at Barker's signals). So, at a signal in length hundred twenty one elements are the relation equally in hundred twenty one, in comparison with thirteen. In the program LabVIEW environment research of a noise stability of new sequences is carried out. Signals of systems of automatic equipment, telemechanics and the communications created according to found sequences, can be reliably allocated from hindrances, many times more powerful, than signals. Such signals can equally successfully will be applied both to transfer of teams and for reliable synchronization.

Keywords: reliability, noise stability, broadband signals, Barker's codes

В каналах телемеханики решается или задача обнаружения сигнала, или задача различения сигналов, которую можно рассматривать как частный случай задачи обнаружения. Для решения этих задач оптимальным образом следует применять корреляционный прием. Корреляционный прием тем эффективней, чем сложнее полезный сигнал [5, 6]. Но не все сложные сигналы одинаково эффективны для решения задачи обнаружения. Наилучшими являются те, у которых отношение N главного пика функции автокорреляции (АКФ) к боковым – наибольшее. Такие сигналы (двоичные последовательности) известны и широко применяются, их называют сигналы (коды) Баркера [7]. Сигналов Баркера всего 7, самый сложный из них состоит из 13 символов и имеет отношение высоты главного пика АКФ к боковым $N = 13$. Это свойство позволяет надежно обнаруживать такой сигнал при отношениях сигнал/помеха $C/P < 1$. Однако в наиболее «тяжелых» (в смысле помехоустойчивости) каналах, например, каналах телемеханики электрифицированного железнодорожного транспорта даже сигналы Баркера не обе-

спечивают требуемой надежности их обнаружения.

Нами найдены сигналы, обладающие большим, чем у сигналов Баркера отношением N [2]. Способы поиска таких последовательностей описаны авторами в работе [1]. Один из способов основан на комбинировании сигналов Баркера. В качестве «материнской» последовательности берется последовательность Баркера, а затем каждый элемент материнской последовательности заменяется прямой или инверсной «дочерней» последовательностью Баркера же, в зависимости от того, ноль или единица в материнской последовательности.

Из 38 возможных парных комбинаций материнских и дочерних последовательностей нашему требованию удовлетворяют только 10 последовательностей:

$$3 \times 4, 1; 3 \times 3; 3 \times 7; 3 \times 11; 7 \times 3; 7 \times 7; 7 \times 11; \\ 11 \times 3; 11 \times 7; 11 \times 11,$$

где первое число – материнская последовательность второе число – дочерняя последовательность. Например, для последовательности 3×7 материнская после-

довательность – 1 1 0, а дочерняя – 1 1 1 0 0 1 0, тогда новая последовательность имеет вид:

$\underbrace{1110010}_{\langle 1 \rangle}$
 $\underbrace{1110010}_{\langle 1 \rangle}$
 $\underbrace{0001101}_{\langle 0 \rangle}$

На рис. 1–3 приведены АКФ новых сигналов. Видим, что 9 из них построены только из комбинаций 3, 7 и 11. АКФ сигнала 3×4,1 приведена отдельно на рис. 4, поскольку она выпадает из общей закономерности.

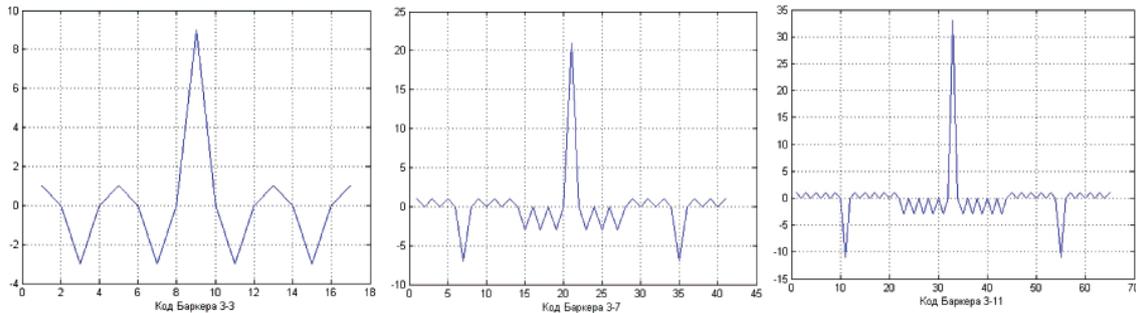


Рис. 1. АКФ сигналов 3×3; 3×7; 3×11

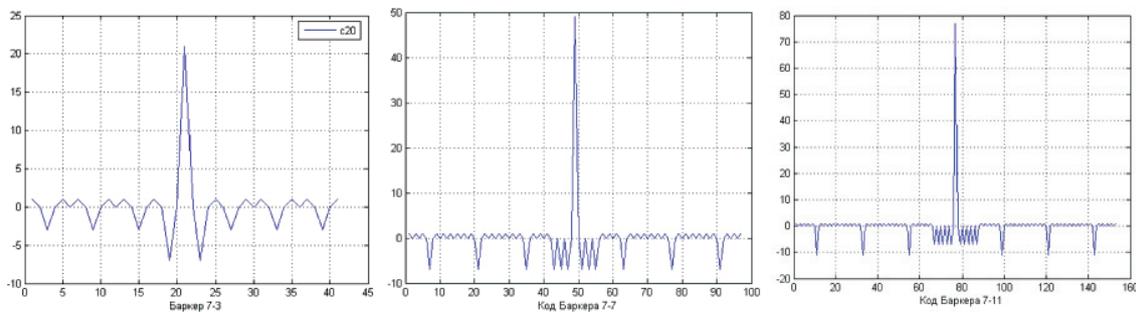


Рис. 2. АКФ сигналов 7×3; 7×7; 7×11

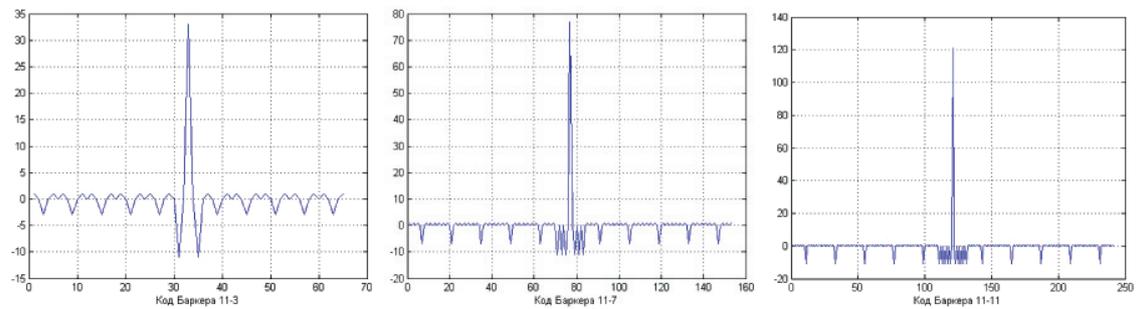


Рис. 3. АКФ сигналов 11×3; 11×7; 11×11

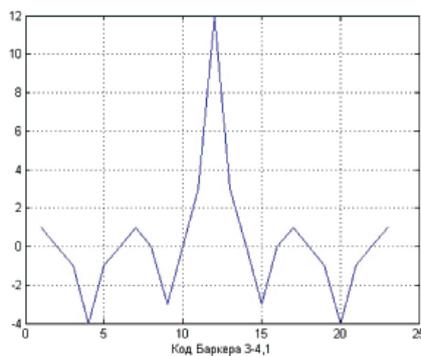


Рис. 4. АКФ сигнала 3×4,1

Для сравнения на рис. 5 приведены примеры неудачных комбинаций материнских и дочерних последовательностей.

Помехи снижают главный пик корреляционной функции и поднимают боковые пики, поэтому чем больше отношение вы-

соты главного пика АКФ к боковым, тем выше вероятность правильного приема сигналов. Если сравнить это отношение у сигнала Баркера 13 с сигналом Баркера–Волынской 11×11 , то видим, что оно в $121/13 = 9,308\dots$ раз больше.

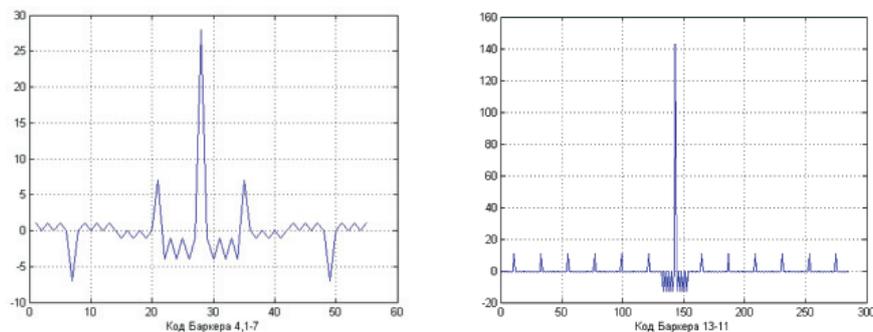


Рис. 5. АКФ неудачных сигналов

Авторами проведено исследование помехоустойчивости новых сигналов путем моде-

лирования в программной среде LabVIEW. Результаты приведены на следующих рисунках.

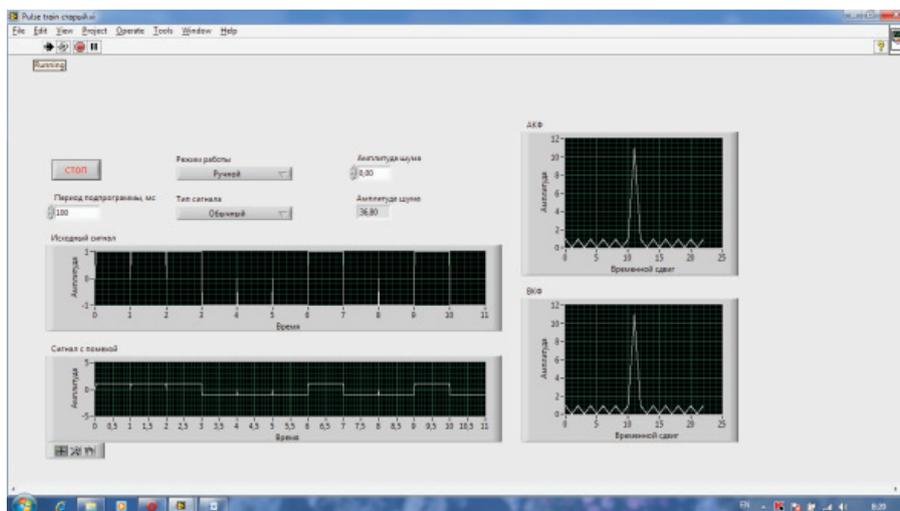


Рис. 6. 11-ти элементный сигнал Баркера и его АКФ

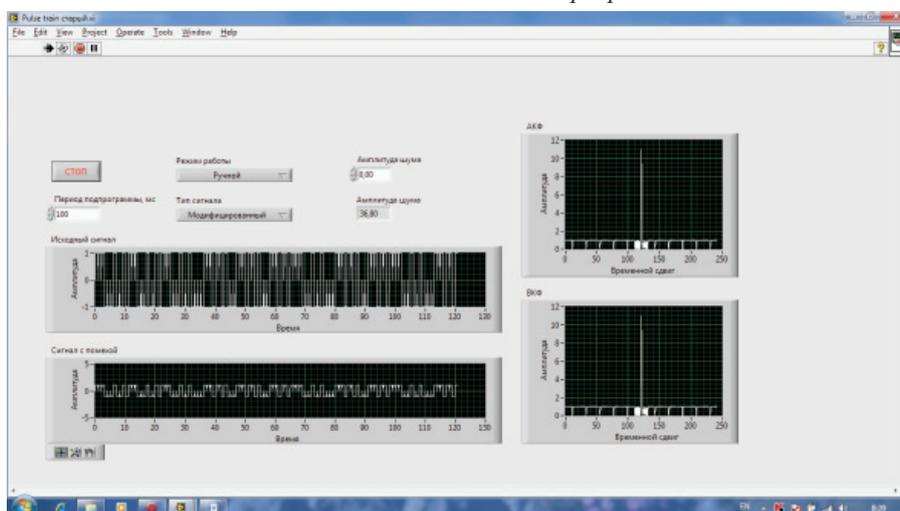


Рис. 7. Сигнал Баркера–Волынской 11×11 и его АКФ

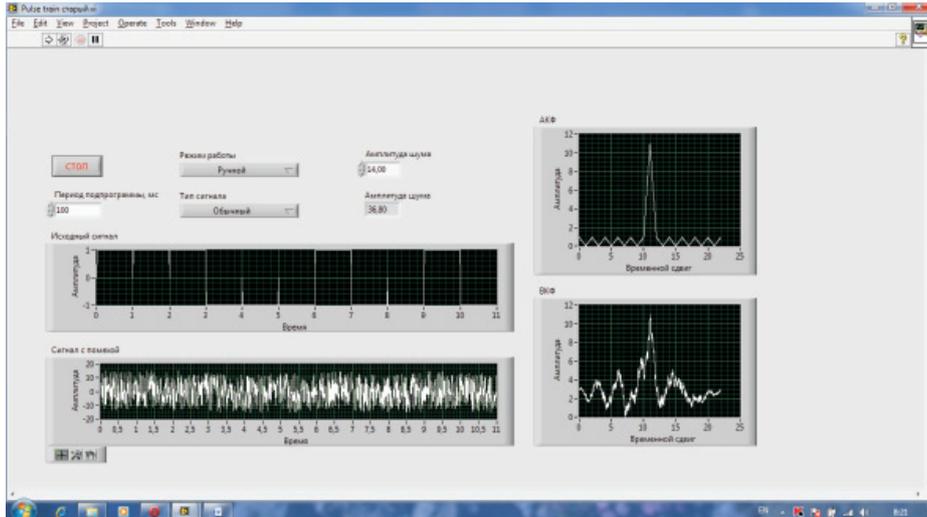


Рис. 8. 11-ти элементный сигнал Баркера + помеха ($C/P = 1/14$) и функция взаимной корреляции (ФВК)

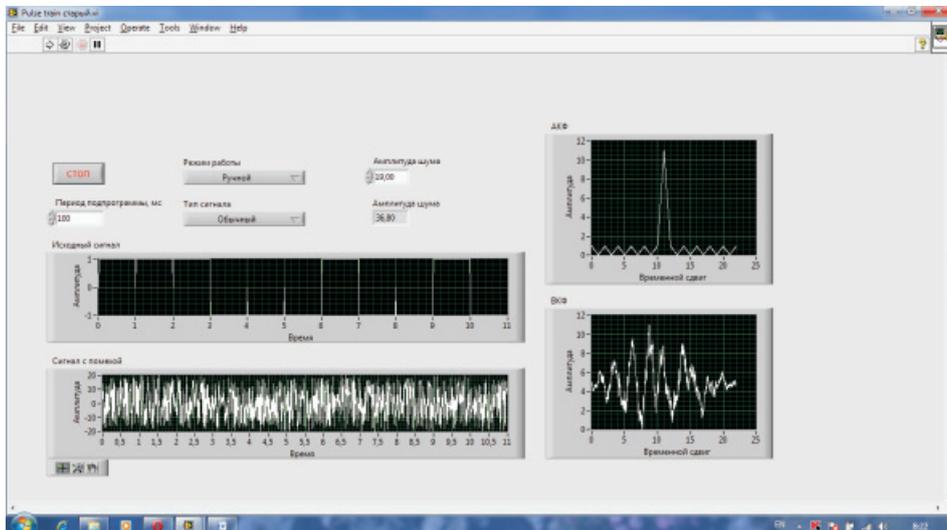


Рис. 9. 11-ти элементный сигнал Баркера + помеха ($C/P = 1/19$) и функция взаимной корреляции (ФВК)

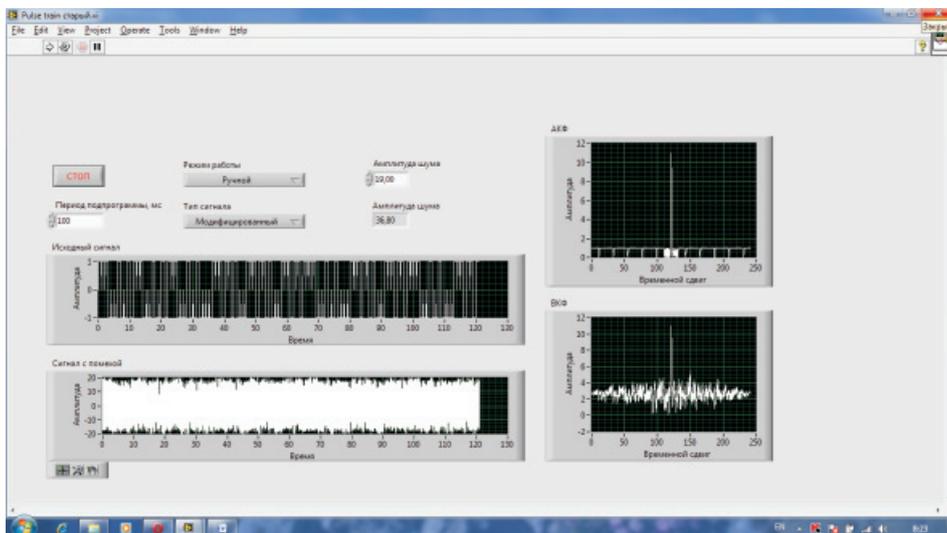


Рис. 10. Сигнал Баркера-Волынской 11×11 + помеха ($C/P = 1/19$) и ФВК

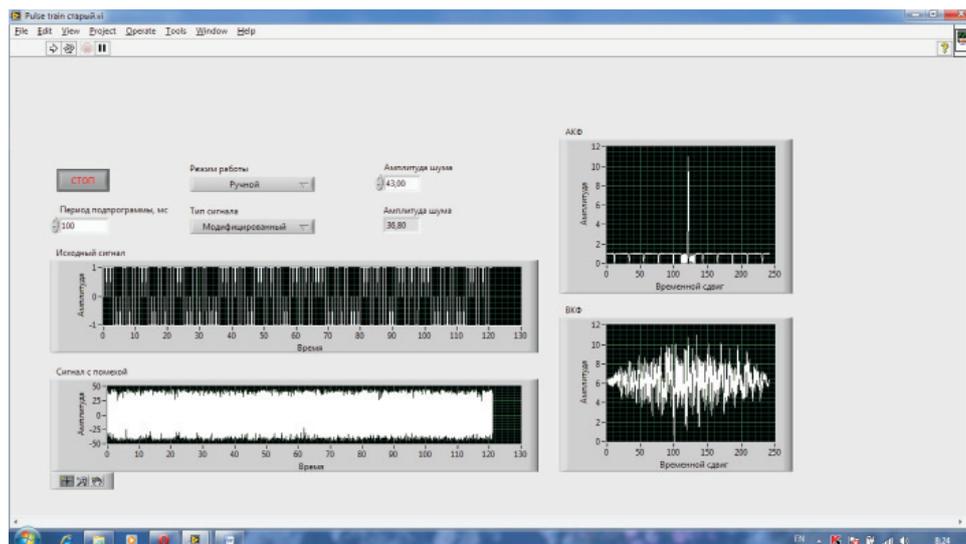


Рис. 11. Сигнал Баркера–Волынской 11×11 + помеха ($C/P = 1/43$) и ФВК

Выводы

Видим (рис. 9), что при отношении $C/P = 1/19$ сигнал Баркера 11 не обнаруживается, т.к. главный пик ФВК соизмерим с боковыми. Кроме того, это может привести к «ложной тревоге».

Сигнал Баркера–Волынской при этом же отношении C/P надежно обнаруживается, т.к. главный пик ФВК существенно превышает боковые (рис. 10).

Обнаружение нового сигнала становится затруднительным только при отношении $C/P = 1/43$.

Сигналы систем автоматики, телемеханики и связи, сформированные в соответствии с найденными последовательностями, могут быть надежно выделены из помех, во много раз более мощных, чем сами сигналы [3]. Такие сигналы могут одинаково успешно применяться и для передачи команд, и для надежной синхронизации [4].

Список литературы

1. Волынская А.В. *Результаты математического моделирования процесса поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами* // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения: Науч.-техн. журнал. – Екатеринбург: УрГУПС, 2009. – № 3–4. – С. 64–71.
2. Волынская А.В. *Сигналы Баркера–Волынской* // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: материалы 3-ей Российской конф. с международным участием. – М.: Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 2012. – С. 649–655.
3. Волынская А.В., Сергеев Б.С. *Моделирование метода весового накопления сигнала для сетей передачи информации транспорта* // Электроника I электрооборудование транспорта. – М., 2008. – № 3. – С. 2–6.
4. Волынская А.В., Сергеев Б.С. *Предпосылки применения псевдослучайных сигналов-переносчиков в каналах телемеханики железнодорожного транспорта* // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник РАН ВИНТИ, 2011. – Вып. 6. – С. 39–41.
5. Ли И., Читем Т., Виснер Дж. *Применение корреляционного анализа для обнаружения периодических сигналов в шуме* // Теория информации и ее приложения; под ред. А.А. Харкевича. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – С. 138–158.

6. Питерсон В., Бердсал Т., Фокс В. *Теория обнаружения сигналов* // Теория информации и ее приложения: под ред. А.А. Харкевича. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – С. 210–275.

7. Barker R.H. *Group synchronizing of binary digital system* // Communication theory. – London, 1953. – 273 p.

References

1. Volynskaya A.V. *Rezultaty protsessy poiska kodovykh posledovatel'nostey s zadannymi korrelyatsionnymi svoystvami* // Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobsheniya : Nauch.-tehn. zhurnal. Ekaterinburg: UrGUPS, 2009. no. 3–4. pp. 64–71.
2. Volynskaya A.V. *Signaly Barkera-Volinskoi* // Tehnicheskie i programnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya : Materialy 3-ei Rossiiskoi konf. s mezhdunarodnym uchastiem. M.: Institut problem upravleniya imeni V.A. Trapeznikova RAN, 2012. pp. 649–655.
3. Volynskaya A.V., Sergeev B.S. *Modelirovanie metoda vesovogo nakopleniya signala dlya setei peredachi informatsii transporta* // Elektronika I elektrooborudovanie transporta. M., 2008. no. 3. pp. 2–6.
4. Volynskaya A.V., Sergeev B.S. *Predposylki primeneniya psevdosluchainykh signalov-perenoschikov v kanalah telemehaniiki zheleznodorozhnogo transporta*. Transport, nauka, tehnika, upravlenie, nauchnyi informatsionnyi sbornik RAN VINITI, 2011, no. 6, pp. 39–41.
5. Li I., Chitem T., Visner D.Z. *Primenenie korrelyatsionnogo analiza dlya obnaruzheniya periodicheskikh signalov v shume* // Teoriya informatsiy i ee prilozheniya : pod red. A.A. Harkevicha. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 1959. pp. 138–158.
6. Piterson V., Berdsal T., Foks V. *Teoriya obnaruzheniya signalov* // Teoriya informatsiy i ee prilozheniya: pod red. A.A. Harkevicha. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury, 1959. pp. 210–275.
7. Barker R.H. *Group synchronizing of binary digital system* // Communication theory. London, 1953. 273 p.

Рецензенты:

Сергеев Б.С., д.т.н., профессор кафедры «Электрические машины» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), г. Екатеринбург;

Иванов В.Э., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии и средства связи» Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета (УрФУ), г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 01.10.2012.