

І.Г. Леонов, Ю.І. Рафальський, А.Є. Присяжний, С.Г. Леушин

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПЕРЕШКОДОЗАХИЩЕНА РАДІОЛІНІЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ОЗБРОЄННЯМ

У статті проаналізована можливість використання сучасних технологій передачі даних в основі яких покладено комбінацію багаточастотних та кодованих за часом сигналів з метою їх використання в системах дистанційного керування озброєнням для вирішення питання перешкодозахищеності радіолінії передачі даних від активних перешкод станцій радіоелектронної боротьби та постановників перешкод разової дії. Показана можливість зменшення впливу перешкод при використанні багаточастотних сигналів при раціональному виборі їх параметрів.

Ключові слова: система дистанційного керування озброєнням, багаточастотні сигнали, кодовані за часом сигнали, радіоканал, дротовий канал зв'язку.

Вступ

Постановка проблеми. Основним недоліком систем дистанційного керування є порушення цілісності каналу керування від дії вогневих засобів та механічних факторів. Це відбувається тому, що для керування, в основному, використовується дротовий канал зв'язку, що має велику довжину та велику вірогідність пошкодження. Одним із шляхів покращення надійності лінії зв'язку є перехід до керування по радіоканалу. Але у цьому випадку необхідно вирішити питання перешкодозахищеності радіолінії передачі даних від активних перешкод станцій радіоелектронної боротьби та постановників перешкод разової дії [1–5].

Аналіз літератури. Сучасні радіолінії зв'язку, зазвичай, будуються на основі використання шумоподібних сигналів. На теперішній час найбільше використовуються 3G та 4G технології, в основі яких покладено комбінацію багаточастотних та кодованих за часом сигналів.

Обробка радіосигналів в умовах перешкод з апіорно відомими енергетичними та статистичними характеристиками досить глибоко вивчена на даний час. У літературі отримали широку популярність методи побудови радіотехнічних пристроїв, оптимальних щодо будь-якого критерію обробки. Природно, що оптимальні структури є найкращими за обраним критерієм з усіх можливих пристроїв і мають найкращі характеристиками для апіорно заданих умов роботи. Відповідно і синтез оптимальних пристроїв проводиться в припущенні апіорі певної перешкодової ситуації і при відомих статистичних характеристиках сигналів. При зміні перешкодової обстановки або при зміні статистичних властивостей інформаційних сигналів оптимальні пристрої втрачають свою оптимальність і можуть виявитися навіть непрацездатними. Крім того, статис-

тичні властивості сигналів і перешкод можуть змінюватися в самому процесі обробки сигналів [6–8].

Тому останнім часом пильну увагу стали приділяти розробці та аналізу алгоритмів роботи пристроїв, що повинні надійно функціонувати при апіорній невизначеності і зміні енергетичних і статистичних параметрів радіосигналу. Проектувальники таких пристроїв переконалися, що повна апіорна визначеність стосовно реальних практичних завдань можлива лише теоретично і, як правило, апіорні відомості обмежуються лише неповним знанням видів законів розподілу і обмеженого числа їх параметрів [9].

Метою даної статті є розробка перешкодозахищеної радіолінії передачі даних для систем дистанційного керування озброєнням.

Виклад основного матеріалу

Прагнення забезпечити адаптивність радіотехнічних систем обумовлює необхідність комплексного застосування різних видів простих і складних сигналів. У системах подібного роду зазвичай передбачається можливість зміни параметрів радіосигналу відповідно до мінливої реальної обстановки. При цьому однією з головних вимог, що пред'являються до сигналу, можна вважати простоту управління його параметрами при прийнятному ускладненні механізмів формування та обробки. З цієї точки зору певні переваги перед іншими складними сигналами має багаточастотний сигнал, що формується методом кутової модуляції високочастотного радіоімпульсу періодичною напругою. Часові, спектральні і кореляційні властивості такого сигналу досить докладно досліджені в ряді робіт.

Як випливає з аналізу літератури, головна перевага багаточастотних сигналів – їх висока перешкодозахищеність, що обумовлена, перш за все, високою перешкодостійкістю самого методу багаточастотного радіозв'язку, а також застосуванням спе-

ціальних способів спільної обробки сигналів з різними несучими частотами, можливостями перерозподілу випромінюваної енергії між різними частотними каналами, виграшом в пороговому відношенні сигнал/шум. Визначальним з перерахованих факторів, безумовно, є стійкість методу багаточастотного радіозв'язку внаслідок використання радіосигналів, що займають досить широкий діапазон частот. Інші фактори, хоча і мають значно менше значення, при певних умовах можуть помітно сприяти збереженню працездатності багаточастотних систем в умовах впливу перешкод.

Подавлення багаточастотної системи можливо перешкодою, однаково ефективною на всіх її робочих частотах. Найбільш перешкодозахищеним способом спільної обробки багаточастотних сигналів є їх перемноження: для подавлення багаточастотних систем, що використовують цей спосіб об'єднання сигналів, необхідно створити перешкоди на всіх робочих частотах. Відсутність перешкоди на одній з робочих частот означає рівність нулю одного із співмножників спільно оброблюваних сигналів, внаслідок чого виключається можливість проникнення перешкод в загальну частину приймально-підсилювального тракту [10–12].

Багаточастотні системи з перемноженням сигналів по перешкодозахищеності перевершують аналогічні системи з додаванням сигналів, по крайній мірі, в число раз, що дорівнює кількості робочих частот (N). Якщо для подавлення системи з додаванням сигналів досить створити ефективну перешкоду в діапазоні частот, приблизно рівному смузі пропускання одного частотного каналу, то для придушення системи з перемноженням сигналів необхідно створювати перешкоди в N таких діапазонах, а при неточному знанні параметрів багаточастотного сигналу – у всьому діапазоні можливого розносу його частот. В ідеальному випадку багаточастотна система повинна мати в своєму складі різні схеми спільної обробки сигналів, що включаються в приймальний тракт в залежності від зовнішніх умов прийому сигналів.

Таким чином є можливість зменшення впливу перешкод при використанні багаточастотних сигналів при раціональному виборі їх параметрів. Прикладом такого складного сигналу служить багаточастотний сигнал.

Ви́раш у відношенні сигнал-шум запропоновано оцінювати за допомогою відповідного коефіцієнта ви́рашу:

$$K_{\text{БЧ}} = \frac{L_{\Phi}}{L_{\Phi\text{БЧ}}} 4 \sqrt{\frac{q_0(1)}{q_0(m)}}, \quad (1)$$

де $q_0(1)$ й $q_0(m)$ – граничні відносини при одночастотній і багаточастотній роботі відповідно.

При багаточастотній роботі може виникати протиріччя між вимогами до параметрів радіосигналу й небажаними наслідками від використання такого сигналу. Тому необхідно раціонально підходити до вибору параметрів багаточастотного сигналу. Для цього проведемо аналіз часових, спектральних і кореляційних властивостей багаточастотних сигналів вигляду:

$$x(t) = \sum_{\mu=1}^N \sqrt{2P_{\mu}} \operatorname{Re} \left\{ \dot{U}_{\mu}(t) \exp[j(2\pi f_{\mu} t + \phi_{\mu})] \right\}, \quad (2)$$

де N – кількість використовуваних несучих частот;

P_{μ} – середня потужність сигналу на μ -й частоті;

$\dot{U}_{\mu}(t)$ – комплексний закон модуляції сигналу на μ -тій частоті. Двовимірна кореляційна функція сигналу (2) може бути записана як

$$R(\tau, F) = \sum_{\mu, \nu=-N}^N \dot{A}_{\mu} \dot{A}_{\nu} R_{\mu}(\tau, F_{\mu\nu}), \quad (3)$$

де $R_{\mu}(\tau, F_{\mu\nu})$ – двовимірна кореляційна функція μ -тої частотної складової узагальненого багаточастотного сигналу;

$$F_{\mu\nu} = F + (\mu - \nu) f_m.$$

На рис. 1 наведена типова двовірна кореляційна функція багаточастотного сигналу.

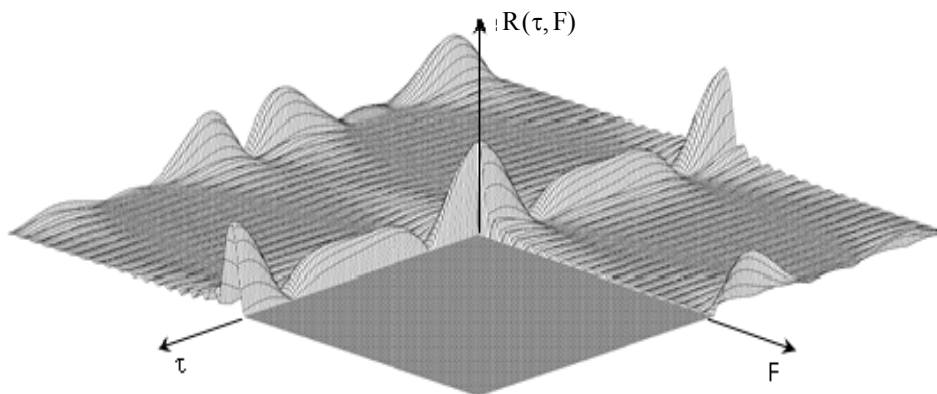


Рис. 1. Двовірна кореляційна функція багаточастотного сигналу

Автокореляційна функція такого багаточастотного сигналу представлена на рис. 2 [12].

Кореляційні властивості багаточастотних сигналів, сформованих методом кутової модуляції періодичною напругою, визначаються ваговою функцією A_μ , тобто видом напруги, що модулює U_m . Пошук зв'язку між A_μ й U_m відноситься до некорект-

них математичних задач. Тому пропонується наступний підхід до його розв'язання.

Він полягає у наближенні амплітудного спектра багаточастотного сигналу $b(2\pi f)$ до амплітудного спектра $a(2\pi f)$ сигналу, що забезпечує певне наближення кореляційної функції багаточастотного сигналу до заданої.

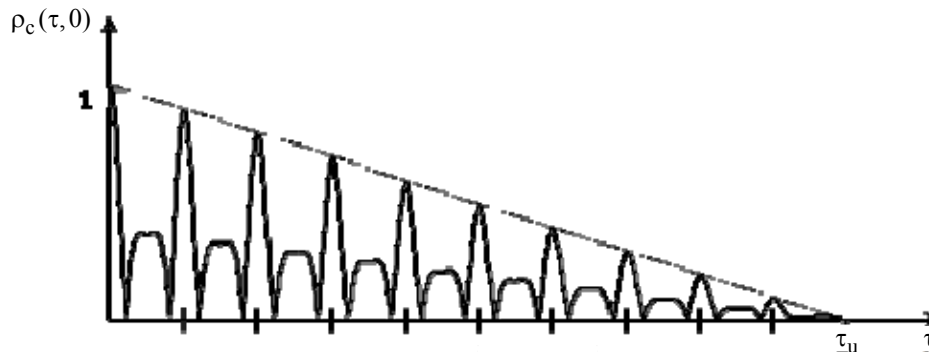


Рис. 2. Автокореляційна функція багаточастотного сигналу

Функція

$$\varphi(t) = F(t),$$

що задовольняє такій умові – є шуканий закон фазової модуляції.

Тоді вираз для необхідного закону фазової модуляції матимете вигляд:

$$F(t) = \arctg \frac{2 \sum_{x=1}^{\infty} A_x \cos \left(x 2\pi f_M t - \frac{x\pi}{2} \right) \sin \left(\frac{x\pi}{2} \right)}{A_0 + 2 \sum_{x=1}^{\infty} A_x \cos \left(x 2\pi f_M t - \frac{x\pi}{2} \right) \cos \left(\frac{x\pi}{2} \right)} \quad (4)$$

Так як при фазовій модуляції енергія сигналу не залежить від виду функції, що модулює, а залежить від енергії радіоімпульсу, потрібно врахувати

$$\sum_{x=-\infty}^{\infty} A_x^2 = 1, \quad (5)$$

та розглядати амплітудно-частотний спектр сигналу в обмеженій смузі частот.

Відповідно до наведеного вище виразу (4) можливо синтезувати модулюючі напруги, що реалі-

зують багаточастотні сигнали з добрими кореляційними властивостями.

Висновки

Таким чином, автокореляційні та взаємокореляційні властивості багаточастотних сигналів дозволяють зробити висновки про використання методів і пристроїв автокореляційної та взаємокореляційної обробки когерентних багаточастотних сигналів у спектральній області для боротьби з перешкодами в радіоканалі дистанційного керування озброєння.

Звичайно, при такій структурі дистанційного керування необхідно на передавальній стороні формувати сигнали дистанційного керування у вигляді модулюючої напруги для модуляції багаточастотного передавача.

На приймальній стороні, після пристрою подавлення перешкод, необхідно з сигналів дистанційного керування формувати сигнали управління драйверами крокових двигунів. Це потребує встановлення додаткового мікроконтролера зі спеціальним програмним забезпеченням [13; 14].

Список літератури

1. Техническое описание ЗУ-14. – МО СССР.
2. Техническое описание ЗУ-23. – МО СССР.
3. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб та ін. / за заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.
4. Алімпієв А.М. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України / А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2. – С. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
5. Модернізація ЗУ-23: огонь стане точним // Военный парад. – 1998. – № 4. – С. 74-76.
6. Шишацький А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 135-137.

7. Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Я.Д. Ширман. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
8. Павленко М.А. Направления развития интерфейсов взаимодействия в автоматизированных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, С.В. Смеляков, В.Н. Руденко, С.И. Хмелевский // Системи обробки інформації. – 2016. – № 9. – С. 51-54.
9. Деденок В.П. Інформаційні статистики і їх застосування у задачах синтезу вирішальних правил виявлення сигналу на фоні завад в умовах непараметричної апріорної невизначеності / В.П. Деденок, Д.В. Карлов, Г.В. Певцов, Ю.В. Резніков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 4. – С. 60-66.
10. Карлов В.Д. Об одной возможности синтеза когерентного многочастотного сигнала с заданными корреляционными свойствами / В.Д. Карлов, И.Г. Леонов, Р.Н. Животовский, В.Н. Петрушенко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 4(33). – С. 79-84.
11. Леонов И.Г. Инвариантный подход к обнаружению радиолокационных сигналов на фоне пассивных помех в условиях априорной неопределенности / И.Г. Леонов, А.Е. Присяжный, Р.Н. Животовский, Д.С. Сидоренко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 6(113). – С. 103-107.
12. Леонов И.Г. Автокорреляционная обработка когерентных многочастотных сигналов / И.Г. Леонов, А.Е. Присяжный, С.В. Волошин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 4(53). – С. 118-123.
13. Патент на корисну модель № 114613, UA, МПК (2017.01) F41G5/00 F41G3/00. Система дистанційного керування засобами малокаліберної артилерії / Ю.М. Цомартов, В.І. Ломінадзе, А.Є. Присяжний, О.М. Греховодов, С.Г. Більченко, О.Г. Кривоконь. – у 2016 10124, заявл. 05.10.16; опубл. 10.03.17; бюл. № 5. – 6 с.
14. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: пер. с англ. / Т. Кенио. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.

References

1. “Tekhnicheskoe opysanye ZU-14. – MO SSSR”, [Technical description of ZU-14. - MO of the USSR].
2. “Tekhnicheskoe opysanye ZU-23. – MO SSSR”, [Technical description of ZU-23. - MO of the USSR].
3. Alimpiyev, A.M., Pyevtsov, H.V. and Hryb, D.A. (2015), “Dovidnyk uchasyka ATO: ozbroynnya i viys'kova tekhnika Zbroynykh syl Rosiys'koyi Federatsiyi”, [Directory of participants of the ATO: Arms and Military Equipment of the Armed Forces of the Russian Federation], Kharkiv, Oryhinal, 732 p.
4. Alimpiyev, A.M. and Pyevtsov, H.V. (2017), “Osoblyvosti hibrydnoyi viyny RF proty Ukrainy. Dosvid, shcho otrymanyu Povitryanymy Sylamy Zbroynykh Syl Ukrainy” [Features of the hybrid war against the Russian Federation. Experience gained by the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 19-25, <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
5. (1998), “Modernyzatsyya ZU-23: ohon' stanet tochnym” [Modernization of the ZU-23: the fire will become accurate], *Voennyi parad*, No.4, pp.74-76.
6. Shishatsky, A.V., Zhuk, O.G. and Zhivotovsky, R.M. (2016) “Metodyka upravlinnya rezhymamy roboty prohramovanykh zasobiv radiozv'yazku” [Methodology of control of modes of work of programmable means of radio communication], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2, pp. 135-137.
7. Shyrman, Ya.D. (2007), “Radyoélektronnye systemy: osnovy postroyenyya y teoryya: Spravochnyk”, [Radioelectronic Systems: Fundamentals of Construction and Theory: A Handbook], Moscow, Radyotekhnika, 512 p.
8. Pavlenko, M.A., Smelyakov, S.V., Rudenko, V.N. and Khmelevsky, S.I. (2016), “Napravleniya razvitiya interfeysov vzaimodeystviya v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya spetsial'nogo naznacheniya” [Directions for development of interaction interfaces in automated control systems for special purposes], *Information Processing Systems*, No. 9, pp. 51-54.
9. Dedenok, V.P., Karlov, D.V., Pevtsov, G.V. and Reznikov, Yu.V. (2016), “Informatsiyini statystyky i yikh zastosuvannya u zadachakh syntezy vyrishal'nykh pravyl vyyavlennya syhnalu na foni zavrad v umovakh neparametrychnoyi apriornoji nevyznachenosti” [Information statistics and their application in the problems of synthesis of decisive rules for detecting a signal against the background of interference under conditions of nonparametric a priori uncertainty], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 4, pp. 60-66.
10. Karlov, V.D., Leonov, I.G., Givotovski, R.N. and Petrusenko, V.N. (2012), “Ob odnoi vozmozhnosti syntezy kogerentnogo mnogochastotnogo signala s zadannymi korelyazionnymi svoystvami” [About one possibility of synthesis of coherent multifrequency signal with the set crosscorrelation properties], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No.4(33), pp. 79-84.
11. Leonov, I.G., Prisyazhnyi, A.Y., Sidorenko, D.S. and Zhyvotovskiy, R.M. (2013), “Invariantnii podhod k obnaryzeniyu signalov na fone pasivnih pomekh v usloviiah apriornoji neopredelennosti” [Invariant rules of finding out radar signals on background of the passive hindrances in the conditions of apriory probability], *Information Processing Systems*, No.6 (113), pp. 103-107.
12. Leonov, I.G., Prisyazhnyi, A.Y. and Voloshin, S.V. (2006), “Avtokorrelyatsionnaya obrabotka kogerentnykh mnogochastotnykh signalov” [Autocorrelation processing of coherent multifrequency signals], *Information Processing Systems*, No. 4(53), pp. 118-123.
13. Zomartov, U.M, Lominadze, V.I., Prisyazhnyi, A.Y., Grehovodov, O.M., Bilchenko, S.G. and Krivokon, O.G. (2017), “Patent na korisnu model' № 114613, UA, МПК (2017.01) F41G5/00 F41G3/00. “Systema dystantsiynoho keruvannya zasobamy malokalibernoyi artyleriyi”, [The system of remote control means of small caliber artillery], Patent for Utility Model No. 114613, UA, MPC (2017.01) F41G5 / 00 F41G3 / 00.
14. Kenyo, T. (1987), “Step motors and their microprocessor control systems”, Moscow: Energoatomizdat, 1987, 200 p.

Надійшла до редколегії 19.01.2018

Схвалена до друку 20.02.2018

Відомості про авторів:**Леонов Ігор Геннадійович**

кандидат технічних наук
доцент Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7394-4879>
e-mail: 22111954ig@gmail.com

Рафальський Юрій Іванович

кандидат технічних наук
доцент кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3744-5084>
e-mail: rui031957@gmail.com

Присяжний Анатолій Євгенович

кандидат технічних наук
старший викладач Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5891-8584>
e-mail: apr071967@gmail.com

Леушин Сергій Геннадійович

старший викладач Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0345-588X>
e-mail: savva1964@gmail.com

Information about the authors:**Igor Leonov**

Candidate of Sciences,
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7394-4879>
e-mail : 22111954ig@gmail.com

Yuri Rafalskiy

Candidate of Sciences,
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3744-5084>
e-mail : rui031957@gmail.com

Anatoliy Prisiazhniy

Candidate of Sciences,
Senior Instructor of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5891-8584>
e-mail: apr071967@gmail.com

Serhiy Leushyn

Senior Instructor of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0345-588X>
e-mail: savva1964@gmail.com

ПОМЕХОЗАЩИЩЕННАЯ РАДИОЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРУЖИЕМ

И.Г. Леонов, Ю.И. Рафальский, А.Е. Присяжний, С.Г. Леушин

В статье проанализирована возможность использования современных технологий передачи данных в основе которых положены комбинации многочастотных и кодированных по времени сигналов с целью их использования в системах дистанционного управления оружием для решения вопроса помехозащищенности радиолинии передачи данных от активных помех станций радиоэлектронной борьбы и постановщиков помех разового действия. Показана возможность уменьшения влияния помех при использовании многочастотных сигналов при рациональном выборе их параметров.

Ключевые слова: система дистанционного управления оружием, многочастотные сигналы, кодированные по времени сигналы, радиоканал, проводной канал связи.

INTERMEDIATE RADIOLINE OF DATA TRANSMISSION FOR REMOTE CONTROL SYSTEMS OF ARMAMENTS

I. Leonov, Yu. Rafalskiy, A. Prisiazhniy, S. Leushyn

The main disadvantage of remote control systems is the violation of the integrity of the control channel from the effects of firefighting and mechanical factors. This is because the control mainly uses a wired communication channel that has a large length and a high probability of damage. One of the ways to improve the reliability of a communication line is to switch to radio channel control. But in this case, it is necessary to solve the problem of impedance of the radio link of data transmission from the active interference of the stations of electronic warfare and interference managers of one-time action.

Modern radio communications lines are usually built on the basis of the use of noisy signals. Currently, 3G and 4G technologies are the most used, based on a combination of multi-frequency and time-coded signals.

In this case, one of the main requirements for the signal, one can consider the simplicity of managing its parameters with an acceptable complication of the mechanisms of formation and processing. From this point of view, certain advantages over other complex signals is the multifrequency signal generated by the method of angular modulation of the high-frequency radio pulse of periodic voltage.

Autocorrelation and inter-correlation properties of multifrequency signals allow us to draw conclusions about the use of methods and devices of autocorrelation and inter-correlation processing of coherent multi-frequency signals in the spectral region for the control of interference in the radio channel of the remote control of the weapon.

The article analyzes the possibility of using modern technology of data transmission, which is based on a combination of multi-frequency and time-coded signals for the purpose of their use in remote-control systems of armaments.

Keywords: remote control system for armament, multifrequency signals, time-coded signals, a radio channel, a wire communication channel.