

ПРИХОДЬКО С. І., д.т.н., професор(УкрДУЗТ),  
ШТОМПЕЛЬ М. А., д.т.н., доцент (УкрДУЗТ),  
СЄВЕРІНОВ О. В., к.т.н., доцент (ХНУРЕ),  
ВЛАСОВ А. В., к.т.н. (ХНУПС)

## Принципи програмної реалізації адаптивного методу декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування

*Показано, що для підвищення достовірності передавання інформації у системах радіозв'язку нового покоління доцільно використовувати алгебраїчні згорткові коди перемешування. Проведено аналіз існуючих методів жорсткого та м'якого декодування завадостійких кодових конструкцій. Обґрунтована доцільність використання узагальнених біоінспірованих процедур спільно з процедурою адаптивного розповсюдження довіри для м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування. Розглянуто основні стадії адаптивного методу декодування даних кодів. Розроблено алгоритм та псевдокод адаптивного декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування, а також визначено особливості їх реалізації.*

**Ключові слова:** згорткові коди, перемешування, декодування, програмна реалізація, біоінспіровані процедури, системи радіозв'язку.

### Постановка проблеми та аналіз літератури

Згорткові кодові конструкції широко застосовуються у сучасних системах радіозв'язку. При передаванні інформації у каналах зв'язку з пам'яттю доцільно використовувати алгебраїчні згорткові коди перемешування [1]. Жорсткий метод декодування даних кодів, що оснований на алгебраїчному підході, не задовольняє зростаючі вимоги щодо достовірності передавання інформації у системах радіозв'язку нового покоління [2]. З другого боку, на даний момент популярними є ітеративні методи декодування завадостійких кодових конструкцій, що використовують генетичні алгоритми [3, 4]. Тому для збільшення ефективності декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування у [5] запропоновано адаптивний метод м'якого декодування, в основі якого лежить біоінспірований підхід та ітеративний принцип обробки прийнятої з каналу зв'язку інформації.

При цьому актуальною задачею є розгляд питань, що стосуються програмної реалізації даного методу декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування.

### Мета статті

Визначення принципів та особливостей програмної реалізації адаптивного методу декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування для забезпечення його ефективного застосування у системах радіозв'язку нового покоління.

### Основна частина

У [5] наведено загальні принципи побудови алгебраїчних згорткових кодів перемешування з використанням породжувального багаточлена коду Ріда-Соломона. Визначено, що при обмеженій інформаційній послідовності дані коди можна подати як довгі двійкові блокові коди, які можна задати еквівалентним чином на основі породжувальної або перевірочної матриць. При цьому задача м'якого декодування даних кодів з формальної точки зору відповідає оптимізаційній задачі. Ураховуючи особливості алгебраїчної структури даного класу кодів та відповідної цільової функції, для вирішення даної задачі було запропоновано спільно використовувати узагальнені біоінспіровані процедури та специфічну евристичну процедуру.

Типова ітерація адаптивного декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування складається з таких стадій.

Стадія 1. Декодування на основі узагальнених біоінспірованих процедур.

З використанням логарифмічного відношення правдоподібності для кожного прийнятого символу формується найбільш надійний базис. Після чого здійснюється пошук передбачуваної кодової послідовності з використанням узагальнених біоінспірованих процедур. Якщо отриманий вектор є переданою кодовою послідовністю, тоді процес декодування завершується, в противному випадку здійснюється перехід до стадії 2.

Стадія 2. Декодування на основі процедур адаптивного розповсюдження довіри.

На основі логарифмічного відношення правдоподібності для кожного кодового символу будується оновлена перевірна матриця. Потім з використанням даної матриці та зовнішньої інформації для поточної ітерації формується нова зовнішня інформація та оновлена інформація про надійність

символів. Отримані дані використовуються для знаходження нової передбачуваної кодової послідовності для оновленого найбільш надійного базису на наступній ітерації декодування на стадії 1.

Схема розробленого методу м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування, що враховує додаткові стадії, наведена на рис. 1.

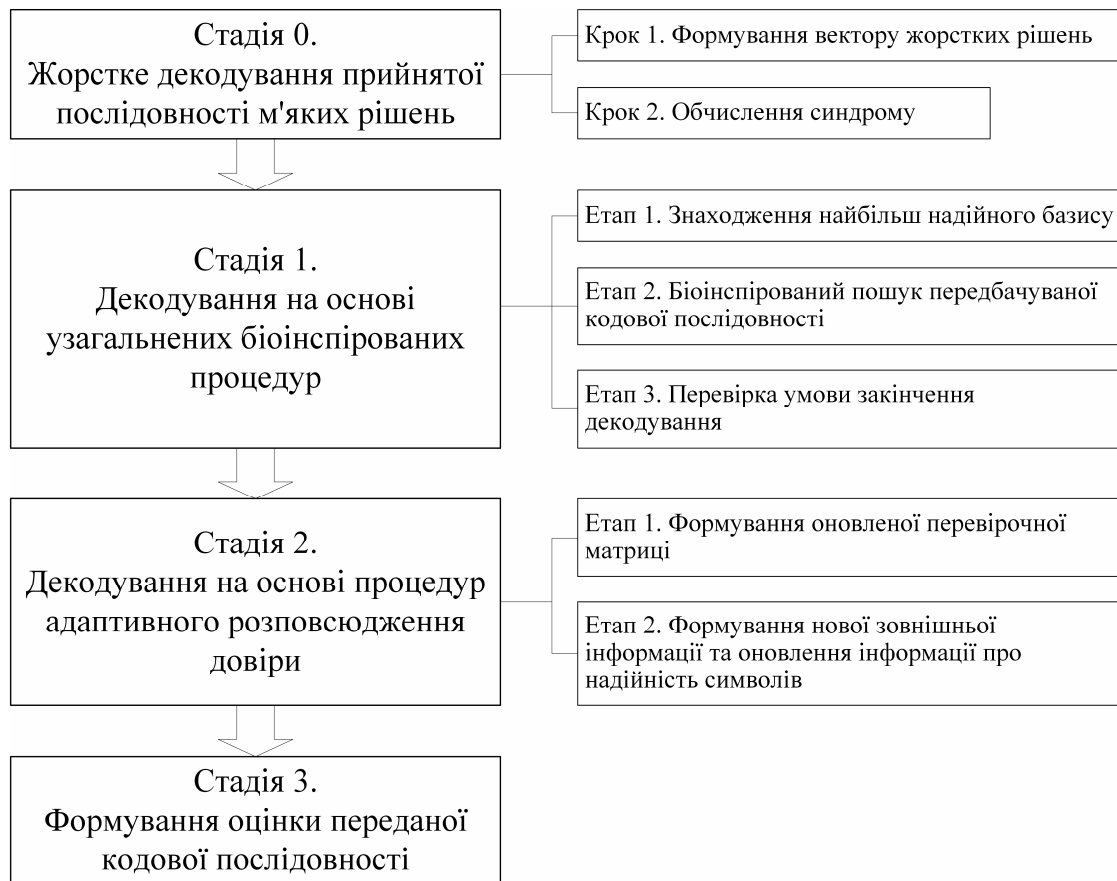


Рис. 1. Схема адаптивного методу м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування

З аналізу рис. 1 випливає, що спочатку відбувається спроба реалізації жорсткого декодування прийнятої з каналу зв'язку послідовності, а потім, у разі необхідності, здійснюється перехід до м'якого декодування. При цьому ключовим етапом декодування є біоінспірований пошук кодової послідовності з використанням деякої оптимізаційної процедури, а процедури адаптивного розповсюдження довіри фактично призначені для оновлення інформації при знаходженні найбільш надійного базису на наступних ітераціях декодування.

Схема алгоритму адаптивного м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування, що оснований на узагальнених біоінспірованих процедурах, наведена на рис. 2.

З рис. 2 випливає, що у даному алгоритмі вхідними даними є інформація про прийнятий вектор м'яких рішень, параметри алгебраїчного згорткового коду перемешування та параметри заданої біоінспірованої процедури. Згідно з розробленим алгоритмом спочатку формується вектор жорстких рішень з метою здійснення жорсткого декодування на основі обчислення синдрому. Після цього за необхідності відбувається м'яке декодування прийнятого з каналу зв'язку вектора м'яких рішень, що ґрунтується на підпроцесі декодування на основі узагальнених біоінспірованих процедур та допоміжному підпроцесі оновлення інформації, необхідної при декодуванні, на основі процедури адаптивного розповсюдження довіри. Перший підпроцес може бути реалізований як

показано у [6, 7] з урахуванням наявності у даних алгебраїчних згорткових кодових конструкцій додаткового параметра – глибини перемешування, а особливості реалізації другого підпроцесу подано у

[8]. Виходом даного алгоритму є оцінка найбільш імовірної кодової послідовності, сформованої у результаті декодування.

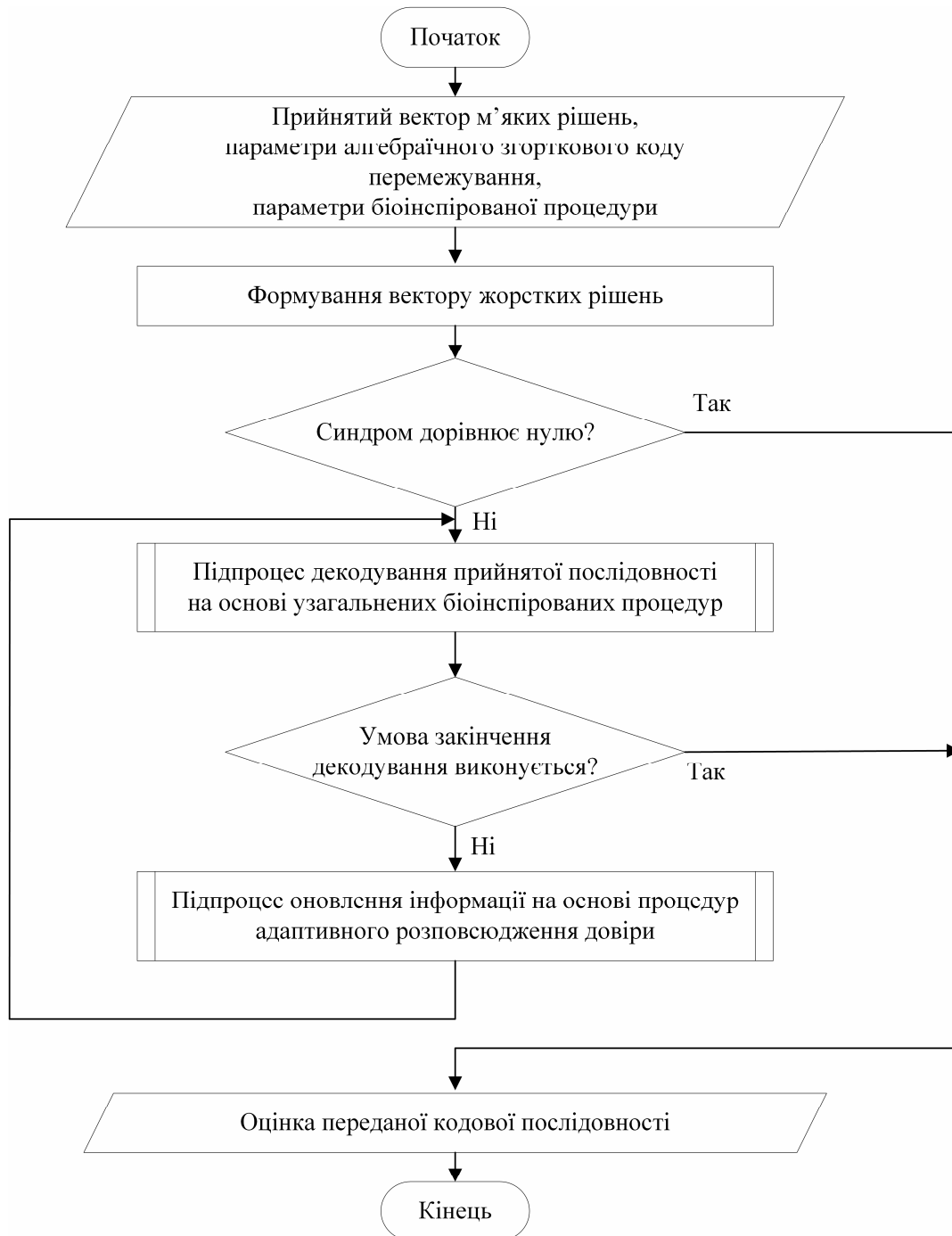


Рис. 2. Схема алгоритму адаптивного м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемешування

Також для здійснення програмної реалізації уніфікований псевдокод, що використовує умовні наведеного методу декодування алгебраїчних позначення, подані у [5], схема якого наведена на згорткових кодів перемешування розроблено рис. 3.

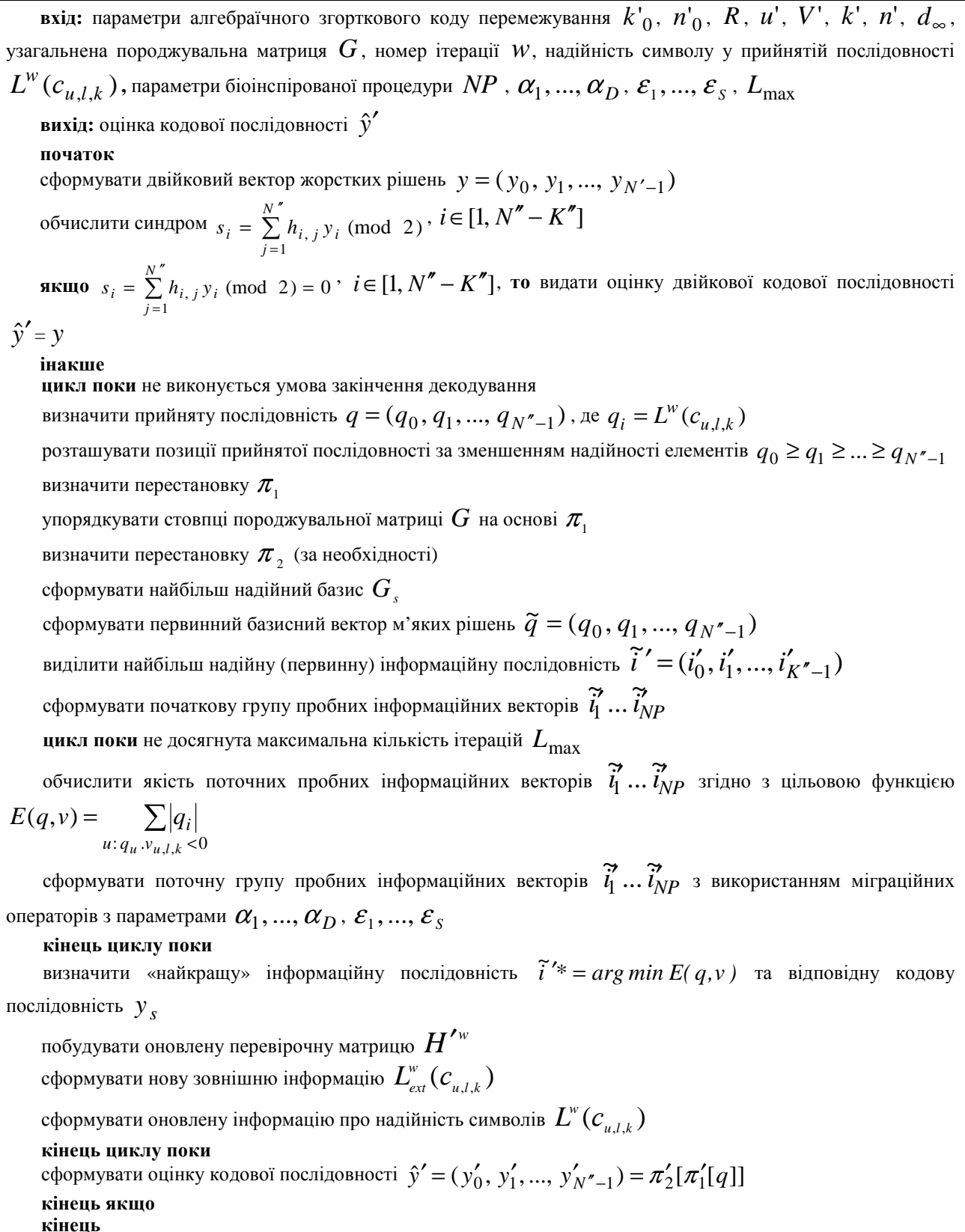


Рис. 3. Схема псевдокоду адаптивного методу м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемезування

**Висновки**

За результатами досліджень визначено доцільність використання узагальнених біоінспірованих процедур спільно з процедурою адаптивного розповсюдження довіри для м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів перемежування. Для ефективного впровадження адаптивного методу м'якого декодування даних кодів (його подальшої програмної реалізації) у системах радіозв'язку наступного покоління розроблено схему відповідного алгоритму та псевдокоду, а також визначено особливості їх реалізації.

**Список використаних джерел**

1. Боцул А. В., Волков А. С., Приходько С. И., Штомпель Н. А. Метод построения алгебраических несистематических сверточных кодов перемежения с произвольной скоростью кодирования. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 2 (105). С. 8–11.
2. Боцул А. В., Волков А. С., Приходько С. И., Штомпель Н. А. Метод декодирования алгебраических сверточных кодов перемежения. *Системы обработки информации*. 2012. Вып. 7(105). С. 172–176.
3. Berbia H., Elbouanani F., Romadi R., Benazza H., Belkasmi M. Genetic Algorithm for Decoding Linear Codes over AWGN and Fading Channels. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2011. Vol. 30. № 1. P. 35–41.
4. Berkani A., Azouaoui A., Belkasmi M., Aylaj B. Improved decoding of linear block codes using compact genetic algorithms with larger tournament size. *International Journal of Computer Science Issues*. 2017. Vol. 14, Issue 1. P. 15–24.
5. Штомпель Н. А. Адаптивное декодирование алгебраических сверточных кодов перемежения. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 6 (121). С. 18–22.
6. Штомпель Н. А. Мягкое декодирование алгебраических сверточных кодов на основе природных вычислений. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 5 (120). С. 14–18.
7. Приходько С. И., Штомпель М. А., Власов А. В. Принципы программной реализации биоинспирированного метода декодирования алгебраических згорткових кодів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. Харків: УкрДАЗТ, 2019. Вип. 2. С. 18–24.
8. Kothiyal A., Takeshita O. Y. A comparison of adaptive belief propagation and the best graph algorithm for the decoding of linear block codes. *Proceedings International Symposium on Information Theory* (4–9 September, 2005). 2005. P. 724–728.

**Приходько С. И., Штомпель Н. А., Северинов А. В., Власов А. В. Принципы программной реализации адаптивного метода декодирования алгебраических сверточных кодов перемежения.**

**Аннотация.** Показано, что для повышения достоверности передачи информации в системах радиосвязи нового поколения целесообразно использовать алгебраические сверточные коды перемежения. Проведен анализ существующих методов жесткого и мягкого декодирования помехоустойчивых кодовых конструкций. Обоснована целесообразность использования обобщенных биоинспирированных процедур совместно с процедурой адаптивного распространения доверия для мягкого декодирования алгебраических сверточных кодов перемежения. Рассмотрены основные стадии адаптивного метода декодирования данных кодов. Разработаны алгоритм и псевдокод адаптивного декодирования алгебраических сверточных кодов перемежения, а также определены особенности их реализации.

**Ключевые слова:** сверточные коды, перемежение, декодирование, программная реализация, биоинспирированные процедуры, системы радиосвязи.

**Prihodko S., Shtompel M., Sievierinov O., Vlasov A. Software implementation features of adaptive method of decoding algebraic interleaved convolutional codes.**

**Abstract.** It is shown that advisable to use algebraic interleaved convolutional codes for increasing the reliability of the transmission of information in new generation radio communication systems. The analysis of existing methods of hard and soft decoding of error correcting codes is carried out. It is shown that the problem of soft decoding of these codes from the formal point of view corresponds to the optimization problem. The feasibility of using generalized bioinspired procedures together with the procedure of adaptive belief propagation for soft decoding of algebraic interleaved convolutional codes is substantiated. The main stages of the adaptive decoding method of these codes are considered. For efficient program implementation of the adaptive decoding method these codes, the schemes of the corresponding algorithm and pseudo-code have been developed, and the features of their implementation have been determined. The received vector of soft decisions, the parameters of the algebraic interleaved convolutional code and the parameters of the given bioinspired procedure are the input data of the adaptive decoding of algebraic interleaved convolutional codes. Initially, a hard decoding based on the calculation of the syndrome occurs. After that, if

necessary, the transition to a soft decoding is carried out. First, a subprocess of soft decoding based on generalized bioinspired procedures is performed. Subsequently, an auxiliary subprocess for updating the information based on the process of adaptive belief propagation is performed. The output of this decoding algorithm is the estimation of the most probable code sequence.

**Keywords:** convolutional codes, interleaving, decoding, software implementation, bioinspired procedures, radio communication systems.

*Надійшла 30.05.2019 р.*

**Приходько Сергій Іванович**, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [prihodko@kart.edu.ua](mailto:prihodko@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>

**Штомпель Микола Анатолійович**, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [tz@kart.edu.ua](mailto:tz@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3132-8335>

**Северінов Олександр Васильович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна. E-mail: [oleksand.sievierinov@nure.ua](mailto:oleksand.sievierinov@nure.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6327-6405>

**Власов Андрій Володимирович**, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна. E-mail: [vav\\_and@i.ua](mailto:vav_and@i.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6080-237X>

**Sergey Prihodko**, Vice-rector for scientific and pedagogical work of Ukrainian State University of Railway Transport, Doctor of Technical Sciences, professor, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [prihodko@kart.edu.ua](mailto:prihodko@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>

**Mykola Shtompel**, Doctor of sciences (engineering), Associate professor (docent), Associate professor, Department of transport communication, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [tz@kart.edu.ua](mailto:tz@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3132-8335>

**Oleksandr Sievierinov**, Candidate of sciences (engineering), Associate professor (docent), Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine. E-mail: [oleksand.sievierinov@nure.ua](mailto:oleksand.sievierinov@nure.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6327-6405>

**Andrii Vlasov**, Candidate of sciences (engineering), leading researcher of scientific center, Ivan Kozhedub Kharkov National University of Air Force, Ukraine. E-mail: [vav\\_and@i.ua](mailto:vav_and@i.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6080-237X>