

представляються у вигляді алгебраїчної суми функцій, що залежать від відомих величин:

$$\begin{cases} x_3 = \Phi_1(x_1, x_2, y_1, y_2) + \delta_1(t) + \varepsilon_1 \\ y_3 = \Phi_2(x_1, x_2, y_1, y_2) + \delta_2(t) + \varepsilon_2. \end{cases} \quad (2)$$

де  $\Phi_1(\cdot), \Phi_2(\cdot)$  – невідомі функції, що залежать від відомих величин, а  $\delta_1(t), \delta_2(t)$  – динамічне розширення вихідної системи (1), а  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – відхилення від цього стану. Вільні функції  $\Phi_1(\cdot), \Phi_2(\cdot), \delta_1(t), \delta_2(t)$  обираються таким чином, щоб  $\varepsilon_1 \rightarrow 0, \varepsilon_2 \rightarrow 0$ , забезпечуючи при цьому алгебраїчну оцінку невідомих. В роботі показано, що нелінійний спостерігач, побудований методом інваріантних перетворень, забезпечує експоненційне затухання відхилень  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ .

### Перелік використаних джерел

1. Sassano M. Towards constructive nonlinear control systems analysis and design. PhD thesis, Control and Power Research Group Department of Electrical and Electronic Engineering Imperial College London, 2012.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-157>

## FEATURES OF DECODING BLOCK TURBO-PRODUCT CODES

### ОСОБЛИВОСТІ ДЕКОДУВАННЯ БЛОКОВИХ КОДІВ ТУРБО-ДОБУТКІВ

**Zvuzdetskii Ye.O.**

*PhD student,  
Vinnytsia National Technical  
University, Vinnytsia, Ukraine*

**Звуждецький Є.О.**

*аспірант, Вінницький національний  
технічний університет,  
м. Вінниця, Україна*

**Ivanov Yu.Yu.**

*PhD (Engineering),  
Associate Professor, Vinnytsia National  
Technical University,  
Vinnytsia, Ukraine*

**Іванов Ю.Ю.**

*к.т.н., доцент,  
Вінницький національний технічний  
університет,  
м. Вінниця, Україна*

The main task of the scientists in the field of modern information and communication systems is to transmit and receive data with maximum reliability and validity. Therefore, forward error correction is used to eliminate

noise errors [1, 2]. The Indian scientist R. Pyndiah suggested using turbo-product codes, which work efficiently with small code blocks at very high code rates [3, 4]. It should be noted that these codes have a lower decoding complexity than convolutional turbo-codes [5, 6]. The *aim* of this work is to analyze the decoding features of the considered codes.

The basis of the mathematical apparatus of soft decoding methods for turbo-product codes is log-likelihood ratio algebra [7]. The decoding method based on the augmented list decoding [3, 5] is effective for turbo-decoding. The method uses a list of the most probable sequences of errors, which is formed on the basis of reliability estimates of received symbols. A hard-decision decoder is used for each error combination added to the codeword. A soft metric is calculated for the decoded sequences. The solution is the most probable codeword, that is, the sequence of characters with the best (minimum) metric. In work [3], a mathematical apparatus and a corresponding decoder were developed, which allows us to evaluate the reliability of each binary symbol after Chase decoding [8], as well as to perform an exchange iterative process.

For turbo product block codes, the limits of the decoder's computational complexity  $[O_{low}, O_{high}]$ , which show the lower and the upper number of elementary mathematical operations performed by it over  $s$  rows of the code table, can be written in the following analytical expressions:

$$O_{low.s}(n, s, t, O) = s \cdot (18n - t - 1 + 2^t \cdot (2t + 3n + O)), \quad (1)$$

$$O_{high.s}(n, s, t, O) = s \cdot (17n - t - 1 + 2^t \cdot (2t + 4n + O)), \quad (2)$$

where  $n$  – the number of binary symbols in the row;  $t$  – the number of unreliable symbols in the Chase algorithm;  $O$  – the number of elementary mathematical operations for hard-decision decoding of the composite component code.

To decode the columns in these formulas,  $s$  and  $n$  are interchanged. The total number of elementary mathematical operations performed by the decoder in  $N$  cycles (1 cycle = 2 iterations) will be

$$O(n, s, t, O) = [N \cdot (O_{low.n} + O_{low.s}), N \cdot (O_{high.n} + O_{high.s})]. \quad (3)$$

The paper considers the list decoder of block turbo-product codes and provides analytical expressions, that allow us performing a comparative analysis of the decoding complexity.

### Bibliography

1. Morelos-Zaragoza R. The Art of Error Correction Coding. Chippenham: John Wiley & Sons, 2006. 278 p.
2. Hanzo L, Liew T.H., Yeap B.L. Turbo Coding, Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Wireless Channels. 2002. 746 p.

3. Near Optimum Decoding of Product Codes / R. Pyndiah, A. Glavieux, A. Picart, S. Jacq. *In IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM*. 1994. P. 339–343.

4. Pyndiah R. Near-Optimum Decoding of Product Codes: Block Turbo Codes. *IEEE Transactions on Communications*. 1998. Vol. 46. P. 1003–1010.

5. Codes and Turbo Codes / C. Douillard, M. Jezequel, G. Battail et al. Paris: Springer, 2010. 424 p.

6. Mukhtar H., Al-Dweik A., Shami A. Turbo Product Codes: Applications, Challenges, and Future Directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. V. 18. № 4. P. 3052–3068.

7. Іванов Ю.Ю. Експериментальне дослідження завадостійкості турбо-кодів: числові оцінки та імітаційне моделювання нового субоптимального алгоритма PL-log-MAP. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця: ВНТУ, 2016. № 5. С. 76–84.

8. Chase D. Class of Algorithms for Decoding Block Codes with Channel Measurement Information. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1972. V. 18. № 1. P. 170–182.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-158>

**THE MATHEMATICAL MODELING OF PHYSICAL PROCESSES  
AS AN ELEMENT OF PRACTICAL TRAINING OF STUDENTS  
OF TECHNICAL SPECIALTIES**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ЯК ЕЛЕМЕНТ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ  
ОСВІТИ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

**Kaidan V.P.**

*Senior Lecturer, “Specialist of the highest category” qualification category, University of Economics and Entrepreneurship, Khmelnytskyi, Ukraine*

**Кайдан В.П.**

*старший викладач, кваліфікаційна категорія «спеціаліст вищої категорії», Університет економіки і підприємництва, м. Хмельницький, Україна*

Під час вивчення здобувачами освіти навчального матеріалу з природничо-математичних дисциплін виникає потреба в опрацюванні значної кількості математичних моделей, які в свою чергу є запорукою