

О. А. Борисенко<sup>1</sup>  
С. М. Маценко<sup>1</sup>

## ОЦІНКА АПАРАТУРНИХ ВИТРАТ ПІДСУМОВУЮЧОГО ЛІЧИЛЬНИКА ФІБОНАЧЧІ В МІНІМАЛЬНИХ КОДАХ ПРЕДСТАВЛЕННЯ

<sup>1</sup>Сумський державний університет

*Проведена оцінка кількості апаратури для реалізації лічильника імпульсів, що працює в мінімальних кодах Фібоначчі. Встановлений функціональний зв'язок кількості апаратури з розрядністю лічильника.*

**Ключові слова:** числа Фібоначчі, завадостійкість, лічильник.

### Вступ і постановка задачі роботи

Задача завадостійкої цифрової лічби була поставлена вже досить давно і розв'язувалась вона по-різному, але в її основі, як правило, лежала звичайна двійкова лічба, що приводило до складнощів побудови завадостійких лічильників [1—3]. Поява завадостійкої фібоначчієвої системи числення поставило питання про створення на її основі відповідних завадостійких лічильників. На сьогодні відомо багато структур таких лічильників, але в них при лічбі переходять до мінімальної форми від максимальної і навпаки, що ускладнює їх структуру [4]. В роботі [5] запропонований алгоритм підсумовуючої фібоначчієвої лічби, який працює тільки в мінімальних кодах, а в роботі [6] відповідний цьому алгоритму завадостійкий лічильник Фібоначчі. Але до цього часу не була отримана функціональна залежність необхідної кількості апаратури для реалізації такого лічильника від його розрядності. Завданням статті є оцінка цієї кількості і встановлення її функціональної залежності від розрядності лічильника Фібоначчі.

### Елементи теорії фібоначчієвих чисел

Для фібоначчієвих кодів існує характерне обмеження, що забороняє знаходитися поруч двом і більше одиницям, тобто одиниці в них мають обов'язково бути розділені нулями [2]. Порушення цієї умови є ознакою помилки. Діапазон чисел, який використовується фібоначчієвими лічильниками буде дорівнювати сумі вагових значень двох старших розрядів фібоначчієвих кодів однакової довжини [2]. Для п'яти розрядного фібоначчієвого числа діапазон чисел буде дорівнювати  $5 + 8 = 13$ . Це будуть такі числа: 00000, 00001, 00010, 00100, 00101, 01000, 01001, 01010, 10000, 10001, 10010, 10100, 10101. В той же час забороненими кодовими комбінаціями будуть 17 комбінацій: 00011, 00110, 00111, 01011, 01100, 01101, 01110, 01111, 10011, 10110, 10111, 11000, 11001, 11010, 11011, 11100, 11101, 11110, 11111. В сумі їх кількість дорівнює 32. Наявність цих комбінацій приводить до можливості знаходження помилок під час обробки фібоначчієвих чисел, тому що вони можуть перейти в заборонені і тим самим вказати на помилку.

### Структура і алгоритм роботи лічильника Фібоначчі

Зміна станів в лічильнику Фібоначчі в мінімальній формі визначається таким алгоритмом [5]. Одиниця заноситься в перший нульовий розряд справа, перед яким стоїть хоча б один нуль. При цьому всі молодші розряди лічильника, розташовані за цим розрядом, якщо вони є, переходять в нуль. Наприклад, кодом в лічильнику, наступним після коду 0000...0, буде 0000...01. У цьому випадку за молодшим розрядом немає переходу розрядів в нуль. За цим числом, очевидно, буде слідувати 0000...010 і так далі, до появи найбільшого фібоначчієвого числа 0101...01 при парній кількості розрядів в лічильнику, або до 1010...10 для непарної кількості розрядів в ньому. З досягненням у лічильнику коду максимального фібоначчієвого числа, в якому відсутні сусідні два і більше нулі в останній справа з яких могла б бути занесена одиниця, всі розряди числа переходять в нуль і починається новий цикл лічби.

Показаний на рис. 1 лічильник складається з блока контролю 1, блока диспозицій 2, блока ана-

лізу станів лічильника 3, регістра 4, блока встановлення лічильника в нуль 5. Працює він таким чином. У вихідному положенні регістр встановлюється в нуль і тому з інверсних виходів його тригерів на схеми І 3.1—І 3.4 блока аналізу 3 будуть подані одиниці. В результаті всі ці схеми І відкриються і будуть мати на своїх виходах також одиниці, які, в свою чергу, через відповідні входи відкривають схеми І 4.1—І 4.4, дозволяючи тим самим встановити тригери регістра 4 в одиничний стан. Але тільки тригер першого розряду в початковий момент лічби з надходженням першого тактового імпульсу буде встановлений в 1, тому що всі інші елементи І регістра 4 в цей момент будуть закриті нульовими сигналами з прямих виходів тригерів молодших розрядів. Наступний тактовий імпульс пройде на вхід установки в 1 тригера другого розряду, тому що на відповідну йому схему І 4.2 подається сигнал 1 з виходу схеми І 3.2 блока аналізу 3 і з прямого виходу тригера першого розряду. Одночасно сигнал з виходу схеми І 4.2 подається на вхід схеми АБО 5.1 і тому перший тригер буде встановлюватись в 0.

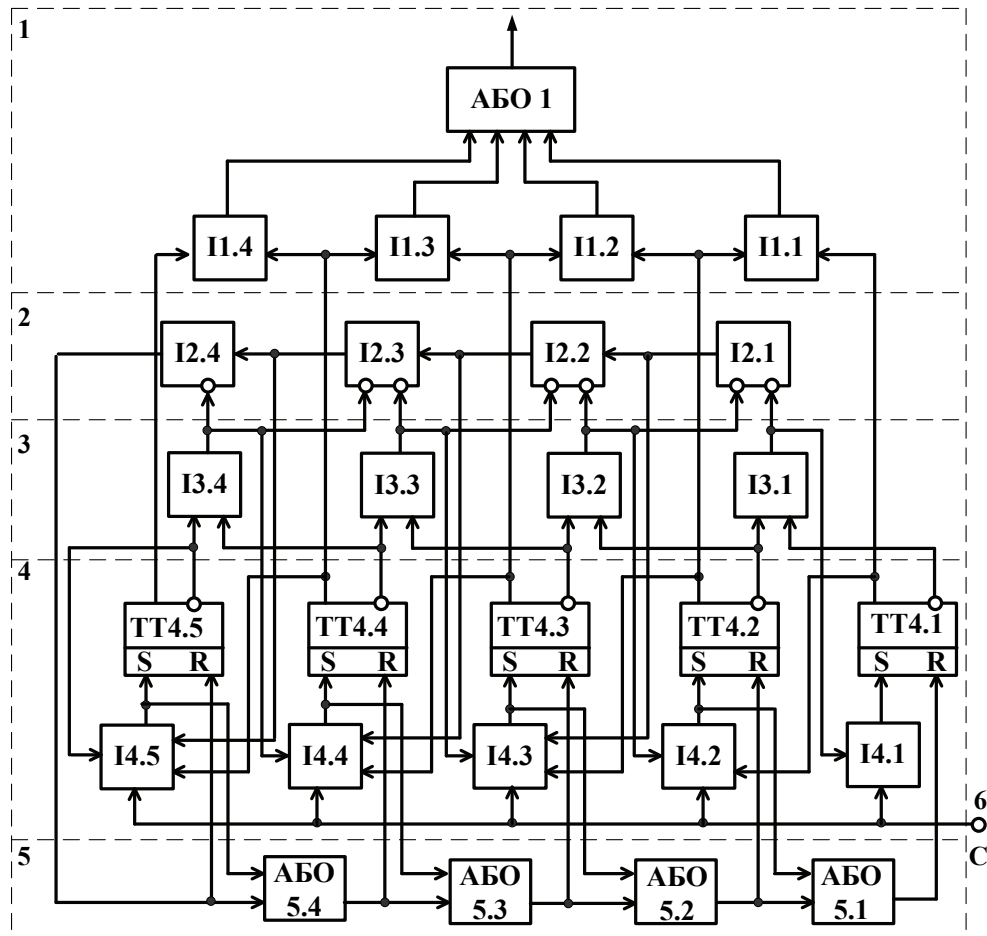


Рис. 1 Лічильник Фібоначчі

Третій тактовий імпульс встановлює в 1 тригер ТТ 4.3, тому що спрацює схема І 4.3, на яку подаються сигнали з виходу елемента І 2.1 блока диспозицій 2, з виходу елемента І 3.3 блока аналізу 3 і з прямого виходу тригера другого розряду, встановленого в 1 другим тактовим імпульсом. При цьому перший і другий тригери одночасно встановлюються в нуль через схеми АБО 5.1 і АБО 5.2. Далі схема працює за аналогією [6].

### Загальний підхід до оцінки апаратурних витрат

Зазвичай кількісна оцінка апаратури цифрових пристроїв, в тому числі і лічильників, проводиться за оцінкою Квайна, тобто за сумарною кількістю входів, що припадають на всі логічні елементи пристрою. Аналогічно будемо розраховувати оцінку і для фібоначчівого лічильника (див. рис. 1). Цю оцінку будемо проводити відповідно до блоків, які входять в структуру лічильника. Розраховуватимемо її, починаючи з розрядності, рівній 2, тому що тільки при цій розрядності проявляється завадостійкість фібоначчівих кодів.

### Оцінка апаратурних витрат блока контролю

Функціональна схема блока контролю 1 лічильника Фібоначчі показана на рис. 2.

Кількість елементів I блока контролю 1 дорівнює  $n - 1$ , кожний з них має 2 входи, елемент АБО —  $(n - 1)$  входів. Відповідно, загальне число входів блока контролю

$$Z_k = 2(n - 1) + (n - 1) = 3n - 3. \quad (1)$$

У табл. 1 наведені апаратурні витрати блока контролю 1 для розрядів  $n = 2, 3, 4, \dots, 11$ .

Таблиця 1

Апаратурні витрати блока контролю 1

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Z</i>	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30

### Оцінка апаратурних витрат блока диспозицій

Схема блока диспозицій 2 лічильника Фібоначчі наведена на рис. 3. Перший і останній  $n-1$  елемент I блока диспозицій, як випливає зі схеми 3, мають по 2 входи, а інші проміжні по 3. Тому число входів для всіх схем I буде дорівнювати величині  $3(n-3) + 4$ . Для інверторів необхідне число входів дорівнює  $2(n-2) + 1$ .

Загальне значення числа входів для блока диспозицій

$$Z_d = 3(n - 3) + 2(n - 2) + 5 = 5n - 8. \quad (2)$$

В табл. 2 наведено апаратурні витрати блока диспозицій 4 для розрядів  $n = 2, 3, 4, \dots, 11$ .

Таблиця 2

Апаратурні витрати блока диспозицій 4

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Z</i>	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47

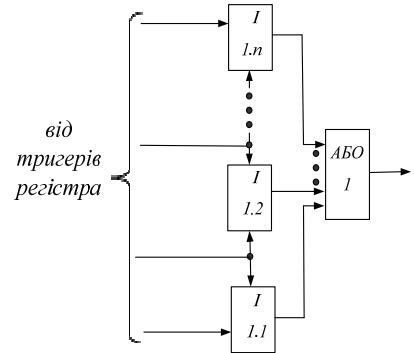


Рис. 2. Блок контролю лічильника Фібоначчі

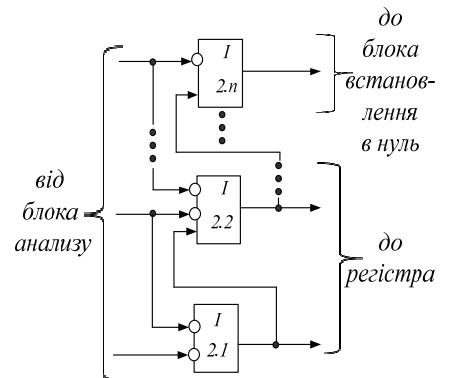


Рис. 3. Блок диспозицій лічильника Фібоначчі

### Оцінка апаратурних витрат блока аналізу

Схема блока аналізу 3 лічильника Фібоначчі наведена на рис. 4. Так як в блоці аналізу 3 кількість вхідних елементів дорівнює  $(n - 1)$  і кожен з них має по два входи, то кількість апаратури для нього

$$Z_a = 2(n - 1). \quad (3)$$

У табл. 3 наведено зростання кількості витрат апаратури блока аналізу 4 для розрядів  $n = 2, 3, 4, \dots, 11$ .

Таблиця 3

Апаратурні витрати блока аналізу 3

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Z</i>	2	4	6	8	10	12	14	15	18	20

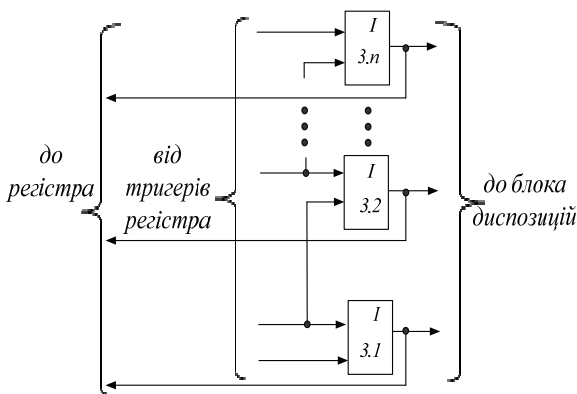


Рис. 4. Блок аналізу лічильника Фібоначчі

### Оцінка апаратурних витрат регістра

Оцінимо апаратурні витрати регістра 4, схема якого показана на рис. 5. У його структуру входять  $n$  тригерів RS-типу з двома ступенями пам'яті та елементи І.

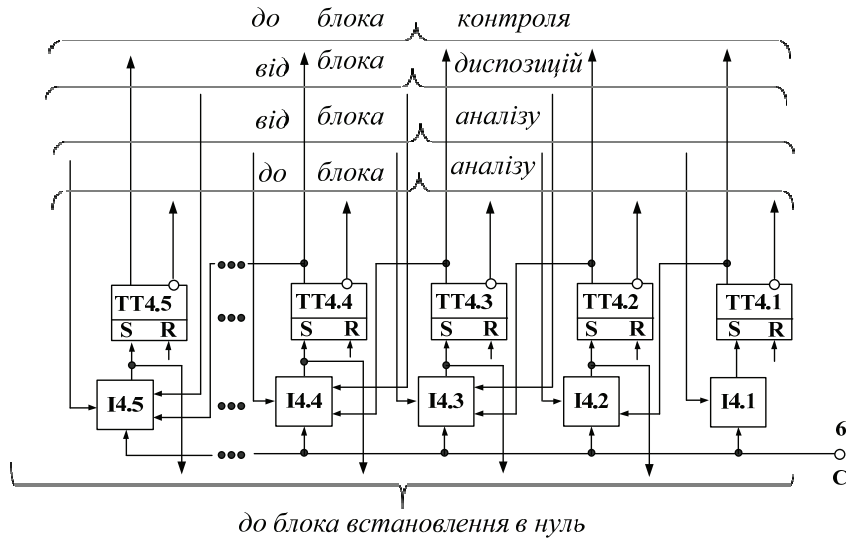


Рис. 5. Регістр 4 лічильника Фібоначчі

З відомої схеми [7] на рис. 6 видно, що кількість логічних входів одного RS-тригера регістра 4 без інверторів дорівнює 17. Крім того, треба ще врахувати входи 9 інверторів. Тому загальна кількість входів логічних схем І, що використовуються в тригерах, дорівнює  $(17 + 9) n = 26 n$ .

Як впливає зі схеми регістра (рис. 5) перший його елемент І 4.1 має два входи, другий І 4.2 — три входи. У сумі їх число дорівнює 5. Всі інші схеми І регістра мають по чотири входи. Відповідно, їх загальна кількість дорівнює  $4(n - 2)$ . Тому величина апаратурних витрат в регістрі 4 за оцінкою Квайна (число входів)

$$Z_r = 26n + 4(n - 2) + 5 = 30n - 3. \tag{4}$$

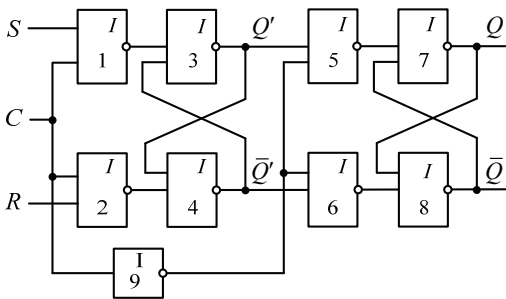


Рис. 6. RS-тригер с двома ступенями пам'яті

У табл. 4 наведено зростання апаратурних витрат для числа розрядів  $n = 2, 3, 4, \dots, 11$ .

Таблиця 4

**Апаратурні витрати регістра 4**

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Z$	57	87	117	147	177	207	237	267	297	327

### Оцінка апаратурних витрат блока встановлення в нуль

Оцінимо апаратурні витрати цього блока. Схема блока встановлення в нуль 5 лічильника Фібоначчі в загальному вигляді показана на рис. 7.

Апаратурні витрати блока встановлення в нуль 1 лічильника Фібоначчі з кількістю вхідних в цей блок  $(n - 1)$  елементів АБО 1.1 — АБО 1. $n$  дорівнюють

$$Z_y = 2(n - 1) = 2n - 2. \tag{5}$$

У табл. 5 наведено апаратурні витрати блока встановлення в нуль 5 для числа розрядів  $n = 2, 3, 4, \dots, 11$ .

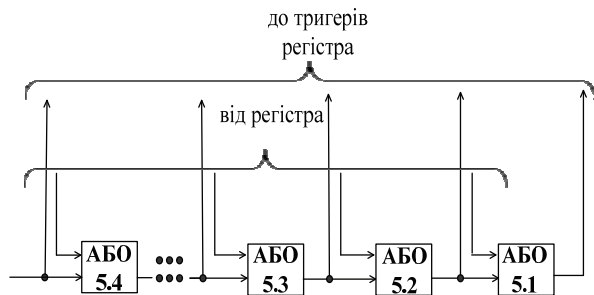


Рис. 7. Блок встановлення в нуль 5 лічильника Фібоначчі

Апаратурні витрати в блоці встановлення в нуль 5

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Z</i>	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

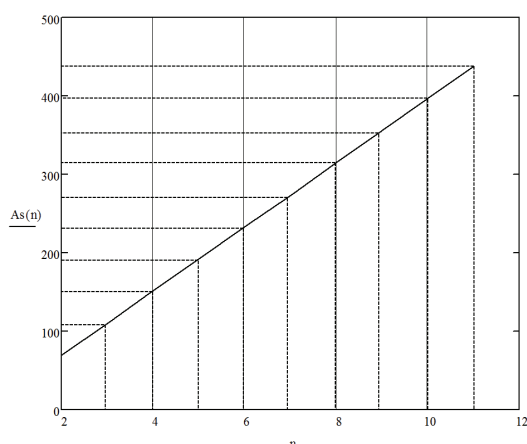
У табл. 6 зведені формули апаратурних витрат пристрою в залежності від блоків, які входять до нього.

Апаратурні витрати лічильного пристрою на основі чисел Фібоначчі в залежності від блоків які в нього входять

Блок пристрою	Формули апаратурних витрат
Блок контролю 1	$Z_k = 2n + 2$
Блок диспозицій 2	$Z_d = 5n - 8$
Блок аналізу 3	$Z_a = 2(n - 1)$
Регістр 4	$Z_r = 30n - 3$
Блок встановлення в нуль 5	$Z_y = 2n - 2$

Апаратурні витрати лічильника Фібоначчі в мінімальних кодах представлення

$$A_s = Z_k + Z_d + Z_a + Z_r + Z_y = 2n + 2 + 5n - 8 + 2(n - 1) + 30n - 3 + 2n - 2 = 41n - 13. \quad (6)$$

Рис. 8. Залежність апаратурних витрат пристрою від числа розрядів *n*

У табл. 7 і на рис. 8 показано зростання величини витрат апаратури лічильника Фібоначчі залежно від числа розрядів *n*.

Апаратурні витрати лічильника Фібоначчі

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Z</i>	69	110	151	192	233	274	315	356	397	438

З табл. 7 і графіка рис. 8 видно, що зі збільшенням розрядів числа лічильника Фібоначчі апаратурні витрати лінійно збільшуються, що пояснюється однорідністю структури при його реалізації.

## Висновки

Апаратурні витрати в фібоначчєвому лічильнику імпульсів, працюючому в мінімальних кодах Фібоначчі зі зростанням розрядності збільшується лінійно з коефіцієнтом 41. Це зростання цілком прийнятне при виготовленні таких лічильників на сучасній недорогій елементній базі. Так як цей лічильник має однорідну структуру, то він буде технологічним при виготовленні і зручним в експлуатації, маючи при цьому підвищену заводостійкість. Тому такий лічильник слід застосовувати в задачах лічби або перерахунку, де потрібна заводостійкість при відносно невеликій кількості апаратури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Хетагуров Я. А. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования / Я. А. Хетагуров, Ю. П. Руднев. — М. : Энергия, 1974. — 271 с.
- Щербаков Н. С. Самокорректирующие дискретные устройства / Н. С. Щербаков. — М. : Машиностроение, 1975. — 215 с.
- Обнаружение и исправление ошибок в дискретных устройствах / В. С. Толстяков, В. Н. Номоконов, М. Г. Карповский, Ю. Л. Ерош. — М. : Сов. радио, 1972. — 288 с.
- А. с. 577682 СССР, МКИ Н03К 23/00. Счетчик импульсов в р-кодах Фибоначчи / А. П. Стахов, В. А. Лужецкий, А. И. Черняк, А. Е. Андреев (СССР). — № 1172006 ; заявл. 03.11.83 ; опубл. 07.08.85, Бюл. № 29. — 5 с.

5. Об одном методе счета в коде Фибоначчи / А. А. Борисенко, А. П. Стахов // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. — 2011. — № 3. — С. 141—149.

6. Пат. на винахід № 104939 У Україна, МПК H03K 23/00 (2014.01). Перешкодостійкий лічильник імпульсів Борисенко-Стахова / Борисенко О. А., Стахов О. П. (Україна); заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. — № 201210506; заявл. 05.09.2012; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6, 2014.

7. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника / Е. П. Угрюмов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 816 с.

Рекомендована кафедрою обчислювальної техніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.07.2014

**Борисенко Олексій Андрійович** — д-р техн. наук, професор кафедри електроніки та комп'ютерної техніки;  
**Маценко Світлана Михайлівна** — аспірантка кафедри електроніки та комп'ютерної техніки, e-mail: s.matsenko@mail.ru

**A. A. Borysenko**<sup>1</sup>

**S. M. Matsenko**<sup>1</sup>

## Hardware costs evaluation of Fibonacci counter in minimum presentation form

<sup>1</sup>Sumy State University

*The article deals with the Fibonacci pulse counter in minimal Fibonacci codes. There have been obtained expression allowing to estimate hardware cost for counting device.*

**Keywords:** performance, Fibonacci numbers, noise-immunity, Fibonacci counter.

**Borysenko Oleksii A.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Electronics and Computer Technology;

**Matsenko Svitlana M.** — Post-Graduate Student of the Chair of Electronics and Computer Technology, e-mail: s.matsenko@mail.ru

**О. А. Борисенко**<sup>1</sup>

**С. М. Маценко**<sup>1</sup>

## Оценка аппаратурных затрат суммирующего счетчика Фибоначчи в минимальных кодах представления

<sup>1</sup>Сумский государственный университет

*Проведена оценка количества аппаратуры для реализации счетчика импульсов, работающего в минимальных кодах Фибоначчи. Установлена функциональная связь количества аппаратуры с разрядностью счетчика.*

**Ключевые слова:** числа Фибоначчи, помехоустойчивость, счетчик.

**Борисенко Алексей Андреевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры электроники и компьютерной техники;

**Маценко Светлана Михайловна** — аспирант кафедры электроники и компьютерной техники, e-mail: s.matsenko@mail.ru