



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ  
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

# Системи обробки інформації

Наукове  
періодичне  
видання

**Випуск 4 (141)**



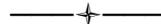
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ



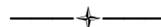
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ  
КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ



ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ,  
ЕКОЛОГІЇ, МЕДИЦИНІ Й ОСВІТІ



КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ  
ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ  
І ЕЛЕКТРОННИХ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ВИДАНЬ



Харків  
2016

Збірник наукових праць «Системи обробки інформації» заснований у 1996 році. У збірнику публікуються результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- Голова:** СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків).
- Члени:** БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);  
БАРАННИК Володимир Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
БІЛЬЧУК Віктор Михайлович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ВАРША Зігмунд Лех (PhD, Polish Metrological Society, Варшава, Польща);  
ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЄВДОКИМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);  
ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);  
ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);  
КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);  
КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);  
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХУПС, Харків);  
ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ «ХПІ», Харків);  
РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);  
РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
СЕРЕНКОВ Павло Степанович (д-р техн. наук проф., БДУ, Мінськ, Білорусь);  
СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХУПС, Харків);  
СМІРНОВ Євген Борисович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);  
ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович (д-р техн. наук проф., ДУ ЦНЕ, Ташкент, Узбекистан);  
ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ «ХАІ», Харків);  
ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);  
ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків).

**Відповідальний секретар:** КОРОЛЮК Наталія Олександрівна (канд. техн. наук, ХУПС, Харків).

Адреса редакційної колегії: 61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79,  
Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.  
Телефон редакційної колегії: +38 (057) 704-96-53 (консультації, прийом статей).  
E-mail редакційної колегії: info@hups.mil.gov.ua.

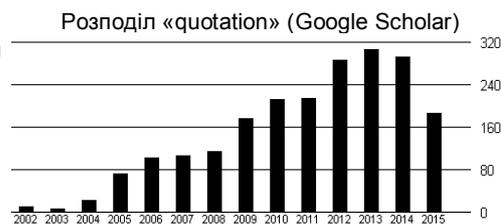
За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил  
(протокол від 19 квітня 2016 року № 7).

Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук",  
(технічні та військові науки; затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528;  
попередні постанови президії ВАК України: від 14.10.2009 р. № 1-05/4; від 9.02.2000 р. № 2-02/2)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Інформаційний сайт збірника: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua).  
Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.  
Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних:  
**Index Copernicus** (Польща), **Google Scholar**  
(наукометричні показники –  $quot. = 2371 / h = 13 / i_{10} = 30$ ).



## З М І С Т

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Андрюкевич Є., Вацьковський К.</i> Технічна реалізація системи для розміщення та відстеження товарів в дистрибуційному центрі на базі RFID і UAV технологій (engl.)	6
<i>Борисенко А.А., Маценко С.М., Череди́ченко В.Б., Мальченков С.М., Савостьян А.Н.</i> Исправление ошибок в минимальных кодах Фибоначчи	11
<i>Бурдаев В.П.</i> Формирование компетентностей и их оценка с помощью интеллектуальных тестов	16
<i>Гусарова И.Г., Мелиневский Д.В.</i> Численное моделирование режимов течения газа методом конечных разностей	23
<i>Двухглазов Д.Э., Николаев Н.Н., Твердохлеб В.В.</i> Проектирование программной реализации компрессии на основе битового представления блоков видеокладов	28
<i>Єрьоменко Д.І., Бабакова Л.М.</i> Аналітичний огляд методів моніторингу промислових об'єктів і можливості їх комплексування (engl.)	32
<i>Засядько А.А.</i> Решение задачи восстановления параметров объектов информационного обеспечения автоматизированных систем управления	35
<i>Ізмайлов А.В., Петришин Л.Б.</i> Трійкові симетричні функції та їх застосування у цифровій обробці інформації	41
<i>Корниєв Д.А., Шматко О.В.</i> Розробка програмного забезпечення для управління колісним роботом з використанням нечіткої логіки	45
<i>Кулик І.А., Новгородцев А.І., Скордина Е.М.</i> Биномиальная модель векторного представления базы данных с колоночной структурой	50
<i>Петришин М.Л., Ровінський В.А.</i> Метод двовимірного кодування даних за допомогою рекурсивних кодових систем	56
<i>Рзаев Х.Н., Самедов Ф.Г., Иманова З.Б., Джамалова Ж.С.</i> Обеспечение безопасности информации в системе управления бурением морских нефтегазодобывающих сооружений	59
<i>Семеренко В.П.</i> Реконструкция линейных скремблеров на основе автоматных моделей	72

### ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Григоренко С.М.</i> Кількісний аналіз відмінностей оригінального цифрового зображення від зображення, що піддалося клонуванню, в умовах збереження у форматі із втрагатами	77
<i>Дудикевич В.Б., Микитин Г.В., Ребець А.І.</i> Комунікаційне середовище кіберфізичної системи "Wi-Fi – Bluetooth – хмарні обчислення – IoT": інформаційна безпека, моделі управління інформаційною безпекою	83

## C O N T E N T

### INFORMATION TECHNOLOGIES IN ENGINEERING SYSTEMS

<i>Andrukiewicz Elżbieta, Waćkowski Kazimierz</i> Technical feasibility of the system for location and tracking goods in distribution center based on RFID and UAV technologies	6
<i>Borisenko A.A., Matsenko S.M., Cherednichenko V.B., Malchenkov S.M., Savostyan A.N.</i> Correction of errors in minimal Fibonacci codes	11
<i>Burdaev V.P.</i> Formation of competence and assessment tests with intelligent	16
<i>Husarova I.G., Melinevskiy D.V.</i> Numerical simulation of flow regimes gas finite difference method	23
<i>Dvukhglavov D.E., Nikolaev N.N., Tverdokhle V.V.</i> Designing of software implementation of compression based on the bit representation of video frame units	28
<i>Eremenko D.I., Babakova L.M.</i> Analytical review of methods of monitoring industrial objects and possibilities of their complexation	32
<i>Zasyad'ko A.A.</i> Solution of the parameters of objects of information support restoring problem of automated control systems	35
<i>Izmailov A.V., Petryshyn L.B.</i> Symmetric ternary functions and their application in digital information processing	41
<i>Kornieiev D.A., Shmatko O.V.</i> Software development for a management by the wheeled robot with the use of fuzzy logic	45
<i>Kulyk I.A., Novgorodsev A.I., Ye.M. Skordina</i> Binomial model of vector representation for database with columnar structure	50
<i>Petryshyn M.L., Rovinsky V.A.</i> Method for two-dimensional data coding based on the recursive code system	56
<i>Rzaev H.N., Samedov F.G., İmanova Z.B., Jamalova J.S.</i> Providing information safety in the control system for drilling marine oil and gas facilities	59
<i>Semerenko V.P.</i> Reconstruction of linear scramblers based on automaton models	72

### INFORMATION SECURITY IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

<i>Grygorenko S.N.</i> Quantitative analysis of the differences between original digital image and images subjected to cloning, by saving image with a lossy format	77
<i>Dudykevych V.B., Mykytyn G.V., Rebets A.I.</i> The communication environment of a cyber-physical system "Wi-Fi – Bluetooth – cloud computing – IoT": information security, information security management models	83

<b>Дудикевич В.Б., Опірський І.Р.</b> Аналіз моделей захисту інформації в інформаційних мережах держави .....	86	<b>Dudykevich V.B., Oprisky I.R.</b> Analysis of models of information security in information networks of state .....	86
<b>Евсеев С.П.</b> Синергетический подход к оценке безопасности банковских систем .....	90	<b>Yevseiev S.P.</b> The synergetic approach for bank systems' security assessment .....	90
<b>Жевандрова Я.М., Сыропятов А.А., Буряк В.Д.</b> Комплексная биометрическая аутентификация личности .....	104	<b>Zhevandrova Ya.M., Syropyatov A.A., Buryak V.D.</b> Compound biometric personality authentication .....	104
<b>Касумов В.А.</b> Стеганографическое скрывание информации в матричных (табличных) данных .....	108	<b>Gasimov V.A.</b> The steganographic concealment of the information in matrix (tabular) data .....	108
<b>Король О.Г., Федько В.В., Огурцов В.В.</b> Оценка статистических свойств хеш-функций с помощью пакета NISTSTS 800-22 .....	115	<b>Korol O.H., Fedko V.V., Ohurtsov V.V.</b> Assessment the statistical properties of the hash functions using a package of NISTSTS 822 .....	115
<b>Мельник М.О., Клевесць В.О., Столовський О.В.</b> Створення вдосконаленого плагіна захисту адміністративної панелі для інтернет-магазину на платформі Word Press (WP) .....	125	<b>Melnyk M.O., Klevec V.O., Stolovskiy O.V.</b> An improved plugin of protection the administrative panel for internet – shop based on the platform Word Press (WP) .....	125
<b>Хорошко В.О., Тимченко М.П.</b> Оцінка параметрів безпеки зв'язку .....	130	<b>Khoroshko V.A., Timchenko M.P.</b> Safety assessment parameters connection .....	130
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, ЕКОЛОГІЇ, МЕДИЦИНІ Й ОСВІТІ</b>		<b>INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ECONOMY, ECOLOGY, MEDICINE AND EDUCATION</b>	
<b>Бринза Н.О., Затхей В.А., Вільхівська О.В.</b> Підходи вирішення задач оптимального розподілу ресурсів в умовах нечіткої інтервальної невизначеності .....	133	<b>Brynza N.O., Zathey V.A., Vylhyvska O.V.</b> Approach to the problem of optimal allocation of resources in a fuzzy interval of uncertainty .....	133
<b>Гонтар Ю.М., Чередніченко О.Ю., Янголенко О.В., Вовк М.А.</b> Розробка розподіленої системи обробки бізнес-інформації з використанням агентного підходу .....	137	<b>Gontar Yu.M., Cherednichenko O.Yu., Yanholenko O.V., Vovk M.A.</b> Development of distributed system of business-information processing based on the agent approach .....	137
<b>Горелова К.А., Задачин В.М.</b> Планування модернізації системи водопостачання міста на базі прогнозу водоспоживання (engl.) .....	143	<b>Horielova K.A., Zadachyn V.M.</b> Planning of city water supply system modernization based on water consumption forecast .....	143
<b>Гороховатський О.В.</b> Особливості розпізнавання зображень символів із використанням лінійних описів та корекції результатів .....	149	<b>Gorokhovatskyi O.V.</b> Characteristic of symbol image recognition using linear descriptions and correction of results .....	149
<b>Гусак Ю.А., Ткаченко В.В.</b> Визначення математичного інструментарію для ідентифікації та оцінки ризику техногенних аварій .....	152	<b>Gusak Yu.A., Tkachenko V.V.</b> Mathematical tools definition for identification and estimation of technological accidents risk .....	152
<b>Дмитрієва О.О., Тертичний О.О., Хоренжя І.В.</b> Оцінювання еколого-соціального ефекту впровадження екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України .....	160	<b>Dmitrieva O.O., Tertichnyi O.O., Khorenzhaya I.V.</b> Evaluation ecological and social impact of the introduction of environmentally sound sanitation in the settlements of Ukraine .....	160
<b>Золотарьова І.О., Плоха О.Б.</b> Модель використання серйозних ігор та симуляцій у навчанні: методичний підхід (engl.) .....	165	<b>Zolotaryova I.O., Plokh O.B.</b> Model of use serious games and simulations in education: methodological approach .....	165
<b>Кузнецова Л.А., Мельник М.А., Катилова К.А.</b> Аналіз проблематики використання зображень в цифровому форматі в медичній практиці .....	169	<b>Kuznetsova L.A., Melnyk M.O., Katilova K.A.</b> Analysis problems using images in a digital format in medical practice .....	169
<b>Лосев М.Ю.</b> Нечітко-множинний аналіз негативного впливу підприємства на якість атмосферного повітря .....	172	<b>Losev M.Yu.</b> Fuzzy set analysis of negative influence on a quality of ambient air .....	172

<b>Машейко Г.О., Орловський Д.Л.</b> Діагностування стану клієнтів та споживачів як один із способів підвищення ефективності управління взаємовідносинами з клієнтами .....	176	<b>Masheiko H.O., D.L. Orlovsky</b> Diagnosing the state of clients and consumers as a way to increase the effectiveness of customer relationship management .....	176
<b>Пушкар О.І., Климнюк В.Є.</b> Моделі освітнього процесу на сучасному етапі розвитку ІТ-технологій .....	182	<b>Pushkar O.I., Klymnjuk V.Ye.</b> Models of the educational process at the present stage of development of IT-technologies .....	182
<b>Ушакова І.О.</b> Вплив соціальних каналів на просування освітніх послуг .....	188	<b>Ushakova I.O.</b> Social channels impact on the promotion of educational services .....	188
<b>Федько В.В., Тарасов О.В.</b> Captivate-реалізація тестів з дисципліни "Організація баз даних та знань" .....	192	<b>Fedko V.V., Tarasov O.V.</b> Captivate-implementation test on the discipline "Organization of databases and knowledge" .....	192
<b>Чередніченко О.Ю., Янголенко О.В.</b> Розробка інформаційно-пошукової системи ідентифікації та вимірювання результатів діяльності .....	197	<b>Cherednichenko O.Yu., Yanholenko O.V.</b> Development of information retrieval system of identification and measurement of activities results .....	197
<b>Шматко О.В., Калиновський А.Я., Коваленко Р.І., Смолянinov С.С.</b> Розробка автоматизованої системи управління для оперативно-диспетчерської служби оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Харківській області .....	204	<b>Shmatko O.V., Kalynovsky A.Y., Kovalenko R.I., Smolyaninov S.S.</b> Development of an automated systems of dispatching services operational coordination center Ukraine emergencies central administrative board in Kharkiv region .....	204
<b>Яковішин К.Н.</b> Обучение профессионалов для телекоммуникаций на примерах моделирования протоколов и сетевых программ .....	209	<b>Yakovishin K.N.</b> How to prepare professionals for telecommunications – by modeling protocols and network programs .....	209
<b>КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ЕЛЕКТРОННИХ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ВИДАНЬ</b>		<b>COMPUTER TECHNOLOGIES AND SYSTEMS IN PUBLISHING, POLIGRAPHY AND ELECTRONIC MEDIA</b>	
<b>Бережна О.Б.</b> Управління взаємодією підприємства поліграфічної галузі із замовниками .....	214	<b>Berezhna O.B.</b> Enterprise relationship management printing industry with customers printed products .....	214
<b>Браткевич В.В.</b> Оценка качества систем поддержки E-learning .....	219	<b>Bratkevich V.V.</b> Evaluation of the quality of support E-learning .....	219
<b>Грабовський Є.М.</b> Автоматизація процесу створення електронних книг у форматі epub .....	223	<b>Hrabovskiy Ye.M.</b> Automating the process of creating e-books in the epub format .....	223
<b>Молчанов В.П.</b> Анализ реализации новых WEB-стандартов в массовом программном обеспечении .....	226	<b>Molchanov V.P.</b> Analysis of the implementation of new standards in the web-mass software .....	226
<b>Потрашкова Л.В., Андрющенко Т.Ю.</b> Комплекс задач прийняття рішень з управління партнерськими відносинами поліграфічного підприємства з постачальниками .....	229	<b>Potrashkova LV., Andrushchenko T.Yu.</b> Complex problems management decisions partnerships printing companies supplier .....	229
<b>Сысоева Ю.А.</b> Компьютерные инструменты визуализации данных ...	233	<b>Sysoyeva Yu.A.</b> Computer data visualization tools .....	233
<b>Хорошевский А.И.</b> Проблемы персонализации и адаптации представления информации на ВЕБ-сайтах для пользователей .....	236	<b>Horoshevsky A.I.</b> Problems of information adaptation and personalization on websites for users .....	236
<b>Хроніка та інформація</b> .....	240	<b>Chronicle and information</b> .....	240
<b>Наші автори</b> .....	241	<b>Authors</b> .....	241
<b>Алфавітний покажчик</b> .....	244	<b>Alphabetical index</b> .....	244

УДК 681.518:004.312

А.А. Борисенко<sup>1</sup>, С.М. Маценко<sup>1</sup>, В.Б. Чередниченко<sup>2</sup>, С.М. Мальченков<sup>1</sup>, А.Н. Савостьян<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сумський державний університет, Суми

<sup>2</sup> Сумський філіал Харківського національного університету внутрішніх дел, Суми

## ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК В МИНИМАЛЬНЫХ КОДАХ ФИБОНАЧЧИ

*В статье предложен метод исправления независимых ошибок в фибоначчиевых числах, представленных в минимальной форме. В его основу положена теорема, которая показывает, что среди трех смежных единиц фибоначчиевого числа средняя единица является ошибочной. Ее преобразование в ноль приводит к исправлению ошибки. Приведена методика синтеза устройств, исправляющих эти ошибки.*

**Ключевые слова:** информация, помехоустойчивость, достоверность, фибоначчиевые числа, код Фибоначчи, исправление ошибок.

### Введение и постановка задачи

К системам передачи и обработки информации в настоящее время предъявляются все возрастающие требования к повышению уровня достоверности их работы. Общеизвестным и широко используемым на практике средством ее повышения является помехоустойчивое кодирование. Среди широко известных помехоустойчивых кодов, обнаруживающих ошибки, эффективно на практике могут использоваться и коды Фибоначчи. Их особенностью является то, что они состоят из чисел, порождаемых фибоначчиевой системой счисления [1 – 3]. Коды Фибоначчи относятся к неразделимым помехоустойчивым кодам и способны обнаруживать асимметричные ошибки не только в передаваемой информации, а и в цифровых устройствах, работающих в этих кодах, например, устройствах, построенных на основе быстродействующих счетчиков Фибоначчи [4 – 6]. В результате появляется возможность сквозного контроля процесса передачи и обработки информации в цифровых системах, что не всегда под силу известным помехоустойчивым кодам, которые обычно ориентированы только на передачу информации. Особенно эффективны коды Фибоначчи в асимметричных каналах связи и при обработке информации.

Однако коды Фибоначчи могут не только обнаруживать асимметричные ошибки, а и частично их исправлять. Для этого обычно используются переходы из одной формы представления кодов Фибоначчи – минимальной к другой – максимальной и обратно, требующие для этой цели производить процедуры развертки и свертки [1 – 3]. Это усложняет процесс декодирования фибоначчиевых чисел и увеличивает его время. Чтобы избежать подобных переходов, была поставлена задача исправления ошибок только в фибоначчиевых числах, представленных в минимальной форме, которая и решается в данной работе.

### Теоретические предпосылки

В фибоначчиевой системе счисления или коде Фибоначчи веса разрядов чисел представлены числами Фибоначчи: 1, 1, 2, 3, 5, 8, ...,  $F_n$ . Они характеризуются тем, что в них каждое последующее число равно сумме двух предыдущих чисел, начиная с третьего.

Для кода Фибоначчи в минимальной форме характерно наличие хотя бы одного 0 между двумя рядом стоящими единицами [1 – 3]. Число фибоначчиевых чисел или их диапазон определяется суммой весов двух старших разрядов [1 – 3]:

$$M = F_n + F_{n-1}, \quad (2)$$

где  $F_n$  – вес  $n$ -го разряда числа Фибоначчи;  $F_{n-1}$  – вес  $n-1$  разряда числа Фибоначчи. Например, фибоначчиевыми числами будут двоичные комбинации 001010001 и 101010101.

Появление в фибоначчиевых числах двух и более рядом стоящих единиц свидетельствует о наличии в них ошибок, которые легко обнаруживаются, а в некоторых случаях и исправляются [1].

### Метод исправления ошибок в кодах Фибоначчи в минимальной форме

**Теорема 1.** *Если в фибоначчиевом числе в минимальной форме имеется последовательность двоичных символов, состоящая из 3 смежных единиц, то единица, находящаяся между двумя крайними единицами, будет ошибочной и может быть исправлена преобразованием в ноль.*

**Доказательство.** Если бы одна из крайних единиц последовательности из 3 рядом стоящих единиц была ошибочной, то тогда бы при ее преобразовании в ноль, во время исправления, остались бы две единицы – одна, взятая из оставшейся крайней единицы, и соседней с ней средней. В результате была бы получена запрещенная последовательность, состоящая из двух рядом стоящих единиц,

одна из которых ошибочная. Это значит, что в последовательности из 3 единиц имеются две ошибочные единицы, что противоречит условию теоремы, по которому утверждается, что в последовательности из трех единиц может быть только одна ошибочная единица. Только в случае, когда ошибочная единица находится между двумя крайними единицами, условие теоремы будет выполнено, так как при ее преобразовании в нуль запрещенная последовательность из двух стоящих рядом единиц образоваться не может. **Теорема доказана.**

Из теоремы 1 вытекает простой метод исправления одиночной ошибки типа  $0 \rightarrow 1$ . Для этого последовательно просматриваются разряды фибоначчьевого числа с начала или с конца на предмет выявления в них трех смежных единиц, и при нахождении таковых единиц, находящаяся посередине, преобразуется в нуль. В результате при отсутствии других ошибок будут получены правильные фибоначчьевы числа.

Представим данный метод исправления одиночных ошибок типа  $0 \rightarrow 1$  в виде следующих шагов:

1. Просматриваются первые справа или слева смежные три разряда фибоначчьевого числа на предмет наличия в них единиц.

2. При наличии в проверяемых трех разрядах двух рядом стоящих единиц подается сигнал об ошибке. Останов.

3. При наличии единиц во всех трех проверяемых разрядах, средняя единица, находящаяся между двумя крайними единицами, преобразуется в нуль. Ошибка исправлена.

4. Если в проверяемых разрядах имеется три нуля или имеется в наличии одна или разделенные нулем две единицы, то просматривается один смежный новый и два старых смежных соседних разряда, и ищутся в них единицы. Переход к пункту 2.

5. И так идет проверка до последних в числе трех разрядов. Если там имеются три единицы, то происходит исправление ошибки. После этого считается, что обнаруживаемых ошибок в фибоначчьевом числе нет. Останов.

Данный алгоритм в строго асимметричных каналах связи с возможными ошибочными переходами типа  $0 \rightarrow 1$  исправляет в фибоначчьевом числе все одиночные ошибки в разрядах, состоящих из трех рядом стоящих единиц. Такие каналы со строгой асимметрией, хоть и редко, но встречаются. Вообще же все каналы связи, в той или иной степени, асимметричны.

Повышенной асимметрией обладают также и цифровые устройства, так как там переход элементов микросхем из 0 в 1 и из 1 в 0 соответствуют разным уровням порогов напряжения помех, приводящих к ошибкам.

Представляет интерес оценка суммарного количества комбинаций 101 в фибоначчьевых числах того или иного диапазона, и их процент по отношению к суммарному числу нулей во всех фибоначчьевых числах данного диапазона. Это число определяет максимально возможное число ошибочных переходов 0 в 1. Тогда можно будет говорить о величине исправляющей способности того или иного кода Фибоначчи.

Количество нулей в разных диапазонах фибоначчьевых чисел P, и их процент по отношению ко всему количеству двоичных символов h показаны в табл. 1.

Таблица 1

Суммарное число нулей  
в кодах Фибоначчи разной длины

n	P	h	Сумма нулейd	%
n=3	5	15	10	66,667
n=4	8	32	22	68,750
n=5	13	65	45	69,231
n=6	21	126	88	69,841
n=7	34	238	167	70,168
n=8	55	440	310	70,455
n=9	89	801	566	70,662
n=10	143	1440	1020	70,833
n=11	232	2563	1819	70,972
n=12	377	4524	3216	71,088
n=13	610	7930	5645	71,185
n=14	986	13818	9848	71,269
n=15	1596	23955	17090	71,342
n=16	2584	41344	29522	71,406
n=17	6765	71077	50793	71,462
n=18	10945	121770	87080	71,512
n=19	17710	207974	148819	71,557
n=20	28657	354220	253610	71,597
n=21	46367	601797	431086	71,633
n=22	75025	1020096	731064	71,666
n=23	121392	1725575	1237175	71,696
n=24	196418	2913432	2089632	71,724
n=25	317811	4910450	3523224	71,750
n=26	514228	8263086	5930666	71,773
n=27	832039	13884183	9968122	71,795
n=28	1346268	23297092	16730830	71,815
n=29	2178309	39041772	28045192	71,834
n=30	3524578	65349290	46954300	71,851

Из табл. 1 видно, что суммарное количество нулей d в диапазоне фибоначчьевых чисел и их процент с ростом разрядности фибоначчьевых чисел n растет.

На рис. 1 приведен график, отображающий эту тенденцию роста числа нулей. Процент единиц g при этом легко находится в графике как разница между ста процентами и процентом нулей.

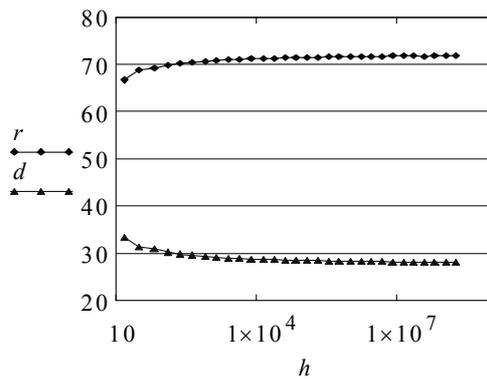


Рис. 1. График роста суммарного количества нулей и единиц в коде Фибоначчи

Чтобы теперь найти процент исправляемых ошибок по отношению ко всем возможным ошибочным переходам 0 в 1 в разных диапазонах фибоначиевых чисел нужно знать количества комбинаций 101 в них.

В табл. 2 показаны эти количества.

Таблица 2

Сумма исправляемых ошибок в фибоначиевых числах разных диапазонов

n	P	Сумма нулей d	Сумма исправл. ошибок F	%
n=6	21	88	10	11,36
n=7	34	167	20	11,98
n=8	55	310	38	12,26
n=9	89	566	71	12,54
n=10	143	1020	130	12,75
n=11	232	1819	235	12,92
n=12	377	3216	420	13,06
n=13	610	5645	744	13,18
n=14	986	9848	1308	13,28
n=15	1596	17090	2285	13,37
n=16	2584	29522	3970	13,45
n=17	4181	50793	6865	13,52
n=18	6765	87080	11822	13,58
n=19	10945	148819	20284	13,63
n=20	17710	253610	34690	13,68
n=21	28657	431086	59155	13,72
n=22	46367	731064	100610	13,76
n=23	75025	1237175	170711	13,80
n=24	121392	2089632	289032	13,83
n=25	196418	3523224	488400	13,86
n=26	317811	5930667	823800	13,89
n=27	514228	9968122	1387225	13,92
n=28	832039	16730830	2332420	13,94
n=29	1346268	30347492	3919061	13,97
n=30	2178309	46954300	6566290	13,98

Из табл. 2 видно, что наблюдается постепенный рост суммарного количества потенциально исправляемых ошибок с ростом диапазонов фибоначиевых чисел P. На рис. 2 этот рост отображен в наглядном виде в виде соответствующего графика.

Как видно из него суммарное число исправляемых ошибок для диапазонов фибоначиевых чисел с минимальной формой, указанных в табл. 2, изменяется примерно от 9 и до 14 процентов. Причем этот рост постепенно замедляется с ростом количества фибоначиевых чисел в диапазонах. Следует предположить, что и для диапазонов, выходящих по величине за рамки табл. 2, будет наблюдаться аналогичная тенденция. Это значит, что в процентном отношении количество исправляемых ошибок в фибоначиевых числах с минимальной формой представления не будет выходить за 15 процентов.

Как следует из описанного выше метода, в его основе лежит, кроме теоремы 1, еще и просмотр в фибоначиевом числе следующих друг за другом последовательностей из 3 смежных разрядов, отличающихся только в одном разряде. Так, например, после последовательности разрядов 1 2 3 должна анализироваться последовательность 2 3 4 и так далее до последнего n-го разряда.

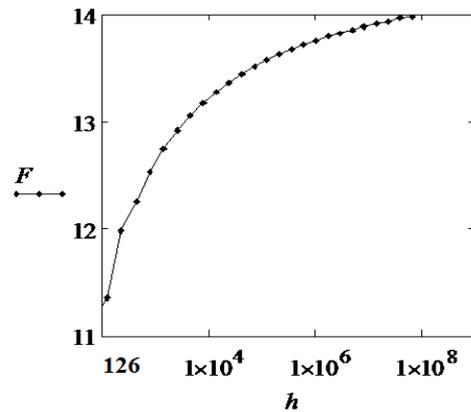


Рис. 2. График роста суммарного количества потенциально исправляемых ошибок

Возникает вопрос, о числе таких последовательностей из 3 разрядов в фибоначиевом числе длины n. От ответа на него зависит как скорость анализа фибоначиевых чисел на предмет обнаружения исправляемых ошибок, так и величина аппаратных затрат, необходимых для схемной реализации данного метода.

**Теорема 2.** Число всех возможных анализируемых последовательностей из 3 разрядов в n – разрядном фибоначиевом числе равно n – 2.

**Доказательство.** Допустим, что имеется n – разрядное фибоначиевое число, в котором сначала анализируются первые 3 разряда 1, 2, 3, затем следующие по порядку разряды 2, 3, 4 после них 3, 4, 5 и так далее до разрядов n – 2, n – 1, n. Разобьем порядок этого анализ на два пути – первый состоит из выбора последовательности 1, 2, 3, за ней 3, 4, 5 и так до n, если n нечетное число и до n – 1, если n – число четное. Второй путь состоит из выбора последовательностей 2, 3, 4, потом 4, 5, 6 и далее до n, для n четного, и до n – 1, для n нечетного. Очевидно, что

и для одного и для другого пути число последовательностей из 3 разрядов будет на 1 меньше числа входящих в пути разрядов. Так как оба пути охватывают в сумме все  $n$  разрядов анализируемого числа, и в каждом из них число последовательностей будет на 1 меньше числа выбираемых ими разрядов, то общая сумма последовательностей по три разряда будет равна  $n - 2$ . **Теорема доказана.**

В табл. 3 представлены количества  $N$  возможных перебираемых двоичных последовательностей из 3-х разрядов в фибоначиевых числах с минимальной формой для их различных длин  $n$ . Очевидно, что эти количества линейно зависят от разрядности фибоначиевых чисел. При этом анализ перебираемых 3-разрядных последовательностей не гарантирует обнаружение среди них хотя бы одной последовательности, состоящей из 3 разрядов, с единицами, а значит и необходимости исправления ошибки.

Таблица 3

Количество перебираемых в фибоначиевом числе последовательностей из 3-х разрядов

$n$	$N$	$n$	$N$
<b><math>n=3</math></b>	1	<b><math>n=17</math></b>	15
<b><math>n=4</math></b>	2	<b><math>n=18</math></b>	16
<b><math>n=5</math></b>	3	<b><math>n=19</math></b>	17
<b><math>n=6</math></b>	4	<b><math>n=20</math></b>	18
<b><math>n=7</math></b>	5	<b><math>n=21</math></b>	19
<b><math>n=8</math></b>	6	<b><math>n=22</math></b>	20
<b><math>n=9</math></b>	7	<b><math>n=23</math></b>	21
<b><math>n=10</math></b>	8	<b><math>n=24</math></b>	22
<b><math>n=11</math></b>	9	<b><math>n=25</math></b>	23
<b><math>n=12</math></b>	10	<b><math>n=26</math></b>	24
<b><math>n=13</math></b>	11	<b><math>n=27</math></b>	25
<b><math>n=14</math></b>	12	<b><math>n=28</math></b>	26
<b><math>n=15</math></b>	13	<b><math>n=29</math></b>	27
<b><math>n=16</math></b>	14	<b><math>n=30</math></b>	28

Из теорем 1 и 2 вытекает следующий метод синтеза устройства, исправляющего ошибки в фибоначиевых числах.

В общем виде логические выражения для схем исправляющих ошибки, как следует из теоремы 1, имеют вид:  $F1 = X1X2X3$ ,  $F2 = X2X3X4$ ,  $F3 = X3X4X5$ , ...,  $F(n-2) = Xn - 2, Xn - 1, Xn$ . Сигналы  $F1, F2, F3, \dots, F(n-2)$  с выходов этих схем подаются на схемы исправления ошибок, например, на входы установки в ноль соответствующих триггеров регистра. Очевидно, что за один проход всех  $n$  разрядов фибоначиевого числа ошибки могут появиться в соответствии с теоремой 2 не более чем в  $n - 2$  случаях. Например, в пятиразрядном фибоначиевом числе одиночные ошибки могут появиться

не более чем в  $5 - 2 = 3$  случаях. Для их выявления понадобится три функции  $F1, F2, F3$ , реализованных на схемах И, каждая из которых имеет три входа. С их помощью за один проход можно исправить все 3 возможные ошибочные переходы  $0 \rightarrow 1$ .

Можно также исправлять ошибки на основе схем их обнаружения. В этом случае сначала строятся схемы обнаружения ошибок, например, для пятиразрядных фибоначиевых чисел с помощью выражений:  $f1 = X1X2$ ,  $f2 = X2X3$ ,  $f3 = X3X4$ ,  $f4 = X4X5$ . С их выходов сигналы  $f1, f2, f3, f4$  по два объединяются с помощью трех двухвходовых схем И в соответствии с логическими выражениями –  $F1 = f1f2$ ,  $F2 = f2f3$ ,  $F3 = f3f4$ . Достоинство такой схемы исправления ошибок состоит в том, что она позволяет одновременно обнаруживать и исправлять одиночные ошибки типа  $0 \rightarrow 1$ .

Используя полученные функции исправления ошибок, можно относительно легко построить регистр Фибоначчи с исправлением ошибок. На рис. 3 для примера показан подобный 3-разрядный регистр, исправляющий одиночную ошибку в виде 1, появляющуюся в среднем триггере при одновременном наличии единиц в крайних триггерах.

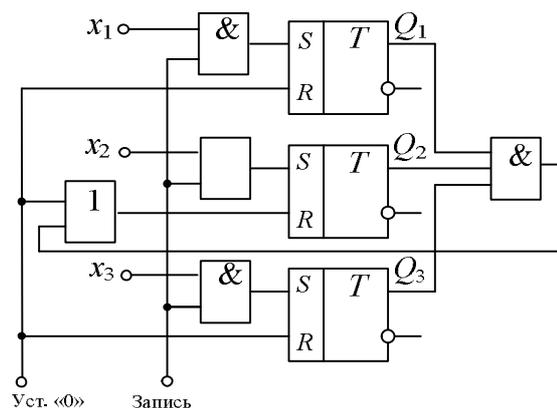


Рис. 3. Трехразрядный регистр, исправляющий одиночную ошибку

В этом случае схема И, на которую заведены единичные выходы всех 3 триггеров выработает 1, которая, поступая через схему ИЛИ на вход установки в 0 среднего триггера, переведет его в нулевое состояние. В результате регистр из неверного состояния 111, перейдет в правильное состояние 101.

Рассматриваемый регистр из 3-х триггеров содержит наименьшее их количество, при которых еще возможно исправление ошибки. Поэтому в нем для исправления ошибки используется всего одна схема И. При наличии двух разрядов, данный метод уже не работает. Для большего количества разрядов в регистре  $n$  и соответственно числе триггеров потребуется соответственно большее число схем И, равное  $N$ , определяемое из табл. 2. Так, как следует из этой таблицы, для регистра из 24 триггеров пона-

добитися 22 схеми І. Соответственно, они позволяют исправить максимальное количество ошибок равное 12. Правда, вероятность такого события чрезвычайно мала, так как необходимо, чтобы правильное фибоначчье число из 24 разрядов имело вид 10101 ... 101, а неправильное - 11111 ... 111, что хотя и возможно, но маловероятно.

Наибольшее количество ошибок, исправляемых данным методом, будет в асимметричных каналах с одиночными ошибками в виде переходов  $0 \rightarrow 1$ , так как именно в них наиболее вероятно появление последовательностей с тремя единицами. Эти ошибки могут появиться в фибоначчевых числах, имеющих в своем составе две единицы, разделенные нулем. Например, такими числами будут 00101 или 10101. Их количество, как показал анализ, для различных длин фибоначчевых чисел будет около 10–15 процентов. Соответственно и количество обнаруживаемых ошибок данным методом от их общего количества не будет превышать данной величины. При этом следует учитывать, что нулей в фибоначчевых числах в разы больше чем единиц, и поэтому переход нуля в единицу более вероятный, чем обратный переход единицы в нуль даже для симметричного канала. Поэтому и в симметричных каналах будет происходить близкий к заявленной величине процент исправление ошибок.

### Заключение

В данной работе был предложен метод исправления ошибок в кодах Фибоначчи. Он сводится к преобразованию в нуль средней с трех стоящих рядом единиц фибоначчьевого числа. При этом предполагается, что только одна из этих единиц может быть ошибочной. Доказано, что такой единицей может быть только средняя единица. Не исключено, что в фибоначчевом числе может быть несколько групп из трех смежных единиц, в каждой из которых произошла одиночная ошибка. Все эти ошибки исправимы по приведенному выше алго-

ритму. Это значит, что код Фибоначчи в минимальной форме обладает пусть и небольшой, но исправляющей способностью асимметричных ошибок типа  $0 \rightarrow 1$ . Для данного метода исправления ошибок важно и то, что для него просто реализуется декодирующее устройство, что позволяет сделать его надежным и экономичным.

Таким образом, использование помехозащитных свойств минимальных кодов Фибоначчи в системах передачи и обработки информации позволяет исправлять в группах из трех смежных единиц независимые ошибки типа  $0 \rightarrow 1$  без дополнительного избыточного кодирования, что может увеличить достоверность получаемой приемником информации и ускорить процесс ее получения.

### Список литературы

1. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерений: / А.П. Стахов. – М.: Сов. радио, 1972. – 288 с.
2. Стахов А.П. Коды Фибоначчи и золотой пропорции как альтернатива двоичной системы счисления. Часть 2 / А.П. Стахов // Germany: Academic Publishing. – № 2. – 2012. – 318 р.
3. Стахов А.П. Кодирование данных в информационно-регистрирующих системах: / А. П. Стахов, Б.Я. Лихциндер, Ю.П. Орлович, Ю.А. Старожил. – К.: Техника, 1985. – 127 с.
4. Борисенко А.А. 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.
5. Борисенко А.А. Об одном способе построения счетчиков Фибоначчи / А.А. Борисенко, А.П. Стахов, С.М. Маценко, В.В. Сиряченко // Вісник Сумського державного університету. – 2012. – № 3. – С. 165-170.
6. Пат. на корисну модель 89153 Україна, МПК (2014) H03K 23/00. Лічильник імпульсів / О.А. Борисенко, С.М. Маценко; заявл. Сумський державний університет. – № u201313302; заявл. 15.11.2013; опубл. 10.04.2014; Бюл. №7. – С. 1 – 5.

Поступила в редколлегию 16.03.2016

**Рецензент:** д-р физ-мат наук, проф. А.С. Опанасюк, Сумский государственный университет, Сумы.

### ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК У МІНІМАЛЬНИХ КОДАХ ФІБОНАЧЧИ

О.А. Борисенко, С.М. Маценко, В.Б. Череди́ченко, С.М. Мальченко, А.М. Савостьян

*У статті запропоновано метод виправлення одиночних незалежних помилок у фібоначчєвих числах, заданих в мінімальній формі. В його основу покладена теорема, яка показує, що серед трьох суміжних одиниць фібоначчєвого числа середня одиниця є помилковою. Її, перетворення в нуль призводить до виправлення помилки. Наведена методика синтезу пристроїв, які виправляють ці помилки.*

**Ключові слова:** інформація, стійкість перед перешкодами, достовірність, фібоначчєві числа, код Фібоначчи, виправлення помилок.

### CORRECTION OF ERRORS IN MINIMAL FIBONACCI CODES

A.A. Borisenko, S.M. Matsenko, V.B. Cherednichenko, S.M. Malchenkov, A.N. Savostyan

*In the article about the single error correction method in Fibonacci numbers presented in minimal form. It is based on the assumption that only one unit is incorrect among three adjacent units of the Fibonacci numbers. It is proved that such a unit may be the average unit standing between two end units, which translates into a zero results in an error correction. Spend devices synthesis method of correcting single errors in the three groups of related units as without error detection and to detect them.*

**Keywords:** information, noise immunity, reliability, Fibonacci numbers, Fibonacci code, fixing bugs.