МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

# ВІСНИК

## Східноукраїнського національного університету імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

№ 6 (247)
2018

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Сєвєродонецьк 2018**

# ВІСНИК
**СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# № 6 (247) 2018
**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**
**ЗАСНОВАНО У 1996 РОЦІ**
**ВИХІД З ДРУКУ - ВІСІМНАДЦЯТЬ РАЗІВ НА РІК**
**Засновник**
**Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля**
Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції України
**Свідоцтво** про державну реєстрацію
**серія КВ № 15607-4079ПР**
**від 18.08.2009 р.**

# VISNIK
**OF THE VOLODYMYR DAHL EAST UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY**

# № 6 (247) 2018
**THE SCIENTIFIC JOURNAL**
**WAS FOUNDED IN 1996**
**IT IS ISSUED EIGHTEEN TIMES A YEAR**
**Founder**
**Volodymyr Dahl East Ukrainian National University**
Registered by the Ministery of Justice of Ukraine
Registration **Certificate**
**KB № 15607-4079ПР**
**dated 18.08.2009**

Журнал включено до Переліків наукових фахових видань України (Наказ МОН №1328 21.12.2015 р.), (Наказ МОН №515 16.05.2016 р.), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних, економічних та історичних наук відповідно.

Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2017: 48.35).

ISSN 1998-7927



**Головна редакційна колегія:**

*Поркуян О.В.*, докт. техн. наук (головний редактор),
*Голубенко* О.Л., член-кор. Академії педагогічних наук, докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Марченко Д.М., докт. техн. наук (заступник головного редактора),
Бузько І.Р., докт. екон. наук, (заступник головного редактора),

Архипов О.Г., докт. техн. наук,
Глікін М.А., докт. техн. наук,
Горбунов М.І., докт. техн. наук,
Рач В.А., докт. техн. наук,
Рязанцев О.І., докт. техн. наук,
Смолій В.М., докт. техн. наук,
Соколов В.І., докт. техн. наук,
Стенцель Й.І., докт. техн. наук,
Суворін О.В., докт. техн. наук,
Татарченко Г.О., докт. техн. наук,
Чернецька-Білецька Н.Б., докт. техн. наук,
Харламов Ю.О., докт. техн. наук,
Даніч В.М., докт. екон. наук,
Заблодська І.В., докт. екон. наук,
Костирко Л.А., докт. екон. наук,
Рамазанов С.К., докт. техн. наук, докт. екон. наук,
Чернявська Є.І., докт. екон. наук,
Овчаренко Є. І., докт. екон. наук,
Д'яченко Ю.Ю., докт. екон. наук,

Kośko A., zw., dr. hab,
Бровендер Ю.М., докт.іст.наук,
Бут О.М., докт.іст.наук,
Дацків І.Б., докт.іст.наук,
Дефорж Г.В., докт.іст.наук,
Довжук І.В., докт.іст.наук,
Залізняк Л.Л., докт.іст.наук,
Запорожченко Ю.В., докт.іст.наук,
Коропченко А.А., докт.іст.наук,
Кривоконь О.Г., докт.іст.наук,
Литвиненко Р.О., докт.іст.наук,
Михайлюк В.П., докт.іст.наук,
Моця О.П., член-кор. НАН України, докт.іст.наук,
Отрощенко В.В., докт.іст.наук,
Пекарчук В.М., докт.іст.наук,
Пилипчук О.Я., докт.біол.наук,
Тригуб О.П., докт.іст.наук,
Сапицька О.М., канд.іст.наук,
Фомін А.В., канд.іст.наук,
Новіков В.П., докт. хім. наук,
Кондратов С.О., докт. хім. наук,
Галстян Г.А., докт. хім. наук,
Галстян А.Г., докт. хім. наук
Потапенко Е.В., докт. хім. наук,
Голосман Є.З., докт. хім. Наук



**Відповідальний за випуск: д.т.н., доцент Скарга-Бандурова І.С.**
Рекомендовано до друку Вченою радою Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (Протокол N 4 від 28.12.2018 р.)

Матеріали номера друкуються мовою оригіналу.



**© Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2018**
**© Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018**

## ЗМІСТ

**Акбаров О.В., Щербаков Є.В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДДІЛУ ПРОДАЖІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ..... 7

**Бережний А.Г., Куркчі А.П., Ларгін В.А.**
ПРО РЕАЛІЗАЦІЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ УПРАВЛЯЮЧИХ ПРОГРАМ ..... 13

**Biloborodova T.O., Ardel O.V., Derevyanchenko V.S., Babaev Sh.O.**
SENSOR FUSION IN WEARABLE IoT HEALTH MONITORING SYSTEM ..... 18

**Болтов Є.В., Сіряк Р.В., Щербаков Є.В., Лифар О.К.**
ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ І ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОДНОПЛАТНИХ КОМП'ЮТЕРАХ ..... 23

**Височина Н.О., Шумова Л.О., Міняйло В.А., Середіна О.Г.**
КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ОСВІТИ ..... 27

**Волков С.В., Коваленко Д.А.**
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ТА ДОСТУПУ ДО РОЗКЛАДУ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ У КОМП'ЮТЕРНИХ КЛАСАХ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ..... 31

**Деркач М.В., Лисак В.В., Скарга-Бандурова І.С.**
РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПРИВАТНИХ ЦЕНТРІВ ПАРКУВАННЯ ..... 38

**Думма В.О., Скарга-Бандурова І.С., Міщенко Ю.Г.**
ПРОФІЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ВОДІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ З OBD-II ПРИСТРОЮ ..... 42

**Захожай О.І.**
КОНЦЕПЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ ..... 49

**Кардашук В.С., Бойчук А.М.**
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРТОРІВ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬВАНІЧНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ ..... 56

**Касабуцька І.В., Кардашук В.С.**
МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ..... 61

**Krivoulya G.F., Shcherbak V. K.**
KNOWLEDGE BASESYSTEM DESIGN FOR DIAGNOSIS OF COMPUTER COMPONENTS USING FLOWCHART ..... 69

**Кучмистий О.Г., Нестеров М.В., Скарга-Бандурова І.С.**
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ БД ..... 76

**Лигін Ю.О., Шумова Л.О.**
ЗАСОБИ АУТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ..... 82

**Loriia M.H.**
IDENTIFICATION ALGORITHM OF CONTROL OBJECTS ..... 86

**Метьолкін А.О., Кардашук В.С**
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ..... 90

**Мінакова Н.О., Нагорна Т.І., Фурса О.О., Тітова О.В., Кравченко Т.В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФТОРИДІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕЗБОРНИХ ТИТАНОВИХ ЕМАЛЕЙ ..... 96

**Мірошник М.А., Пахомов Ю. В., Шкіль О.С., Кулак Е.М., Кучеренко Д.Ю., Філіппенко І.В.**
АНАЛІЗ АПАРАТУРНИХ ВИТРАТ ПРИ ТЕСТОПРИДАТНОМУ ПРОЕКТУВАННІ КЕРУЮЧИХ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ ..... 101

**Недзельський Д.О., Костиря Р.Г.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПЕРСКАЛЯРНОСТІ ТА КЕШ-ПАМ'ЯТІ ПРОДЕШИФРОВАНИХ КОМАНД СУЧАСНИХ ПРОЦЕСОРІВ ..... 110

**Пархоменко А.В., Туленков А.В., Соколянський О.В., Гладкова О.М., Залюбовський Я.І.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДУ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СМАРТ СИСТЕМ ..... 118

**Петрова О.А., Табунщик Г. В.**
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕННЯ ..... 125

**Посохов І.О., Парамонова Т.А., Сафонова С.О.**
АПАРАТНО - ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕНЬ ..... 130

**Приходько Н.В., Приходько С.Б.**
НЕЛІНІЙНЕ РЕГРЕСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВІДКРИТИМ КОДОМ НА PHP ..... 135

**Рубан В.Р., Шумова Л.О.**
ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ..... 140

**Савицька Я.А., Смолій В.В.**
МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕРНЕТ-МАЙДАНЧИКІВ ТА CMS ДЛЯ ЇХ ПІДТРИМКИ ..... 145

**Сафонова С.О., Коваленко В.Є., Парамонова Т.А.**
РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ТРАДИЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ОСВІТИ ..... 149

**Севост'янов О.Р., Скарга-Бандурова І.С., Ардель О.В.**
ВІДСТЕЖЕННЯ RSSI З BLUETOOTH-МАЯКІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ ..... 154

**Соловйов В.А., Сафонова С.О.**
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ УКРАЇНИ ..... 160

**Шевченко В.А.**
МЕТОД И ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ ..... 165

**Барбарук Л.В., Зубарев Д.В., Медведєв Є.М., Барбарук В.М.**
ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ЗБИРАЛЬНИХ РОБІТ У РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ..... 175

**Грушка М.О., Скарга-Бандурова І.С., Коцюба І.В.**
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕЄСТРУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В SMART GRID ..... 180

**Коцюба І.В., Гусаченко О.М., Чернобровкіна В.О., Старцева Ю.С.**
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДВОФАЗНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ..... 186

**Великжанін А.Ю., Скарга-Бандурова І.С.**
АВТОНОМНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПРИКОРДОННИХ ЗОН І ТЕРИТОРІЙ ..... 195

**Канакін А.Е., Скарга-Бандурова І.С., Щербакова М.Є.**
РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ВЕБ-АНАЛІТИКИ ..... 199

**Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О.**
МЕТОДИ І МОДЕЛІ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА ІОТ ..... 205

**Медведь И. И.**
МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ ..... 210

**Горін П. В., Поляруш К. А., Тимків Д.Ф., Романова В.В., Добрунов Д.Є.**
РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЧИСТКИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН ..... 213

## CONTENTS

**Akbarov O.V. Shcherbakov E.V.**
RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR THE INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM FOR THE SALES DEPARTMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE ..... 7

**Berezhnii A.G., Kurkchi A.P., Largin V.A.**
ABOUT REALIZATION OF A WAY FOR IMPROVING THE FAULT TOLERANCE OF GOVERNING PROGRAMS ..... 13

**Biloborodova T.O., Ardel O.V., Derevyanchenko V.S., Babaev Sh.O.**
SENSOR FUSION IN WEARABLE IoT HEALTH MONITORING SYSTEM ..... 18

**Boltov E.V., Siryak R.V., Shcherbakov E.V., Lyfar O.K.**
TESTING REAL-TIME OPERATING SYSTEMS PERFORMANCE FOR COMPUTER VISION AND IMAGE PROCESSING ON SINGLE-BOARD COMPUTERS ..... 23

**Vysochina N., Shumova L., Miniailo V., Seredina O.**
COMPUTER TOOLS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM MONITORING QUALITY OF EDUCATION ..... 27

**Volkov S., Kovalenko D.**
INFORMATION SYSTEM OF GENERATION AND ACCESS TO THE TIMETABLE IN COMPUTER CLASSES OF THE HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION ..... 31

**Derkach M., Lysak V., Skarga-Bandurova I.**
DEVELOPING MOBILE APPLICATION FOR PRIVATE PARKING CENTERS ..... 38

**Dumma V.O., Skarga-Bandurova I.S., Mischenko Yu.G.**
PROFILING DRIVER BEHAVIOR USING DATA RECEIVED FROM AN OBD-II DEVICE ..... 42

**Zakhozhay O.**
THE CONCEPT OF IMPROVING THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SYNTHESIS INFORMATION TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED INFORMATION PROCESSING AND COMPLEX SYSTEMS CONTROLLING ..... 49

**Kardashuk V. S., Boichuk A. M.**
EXPERIMENTAL STUDIES OF GALVANIC ISOLATION POWER SUPPLY CONVERTERS ..... 56

**Kasabutska I.V., Kardashuk V.S.**
METHODS FOR IMPROVING THE TESTING OF DIGITAL SYSTEMS ..... 61

**Krivoulya G.F., Shcherbak V. K.**
KNOWLEDGE BASESYSTEM DESIGN FOR DIAGNOSIS OF COMPUTER COMPONENTS USING FLOWCHART ..... 69

**Kuchmysyi O.H., Nesterov M.V., Skarga-Bandurova I.S.**
RESEARCH METHODS OF DATABASE PERFORMANCE OPTIMIZATION ..... 76

**Lyhin Y.O., Shumova L.O.**
MEANS FOR USER AUTHENTICATION IN COMPUTER SYSTEM BASED ON INFORMATION MODELS ..... 82

**Loriia M.H.**
IDENTIFICATION ALGORITHM OF CONTROL OBJECTS ..... 86

**Metyolkin A.O., Kardashuk V.S.**
RESEARCH METHODS TO IMPROVE CRYPTOGRAPHIC STABILITY ..... 90

**Minakova N.A., Nagornaya T.I., Fursa O.A., Titova H.V., Kravchenko T.V.**
RESEARCHUENCE OF FTORIDES ON THE PROPERTIES OF BORON-FREE TITANIUM ENAMEL ..... 96

**Miroschnyk M.A., Pakhomov Y.V., Shkil A.S., Kulak E.N., Kucherenko D.Y., Filippenko I.V.**
ANALYSIS OF HARDWARE COSTS DURING THE DESIGN FOR TESTABILITY OF CONTROL FINITE STATE MACHINES ..... 101

**Nedzelskyi D.A, Kostyria R.G.**
AN INVESTIGATION OF PERFORMANCE EFFICIENCY
OF THE DECODE STEP IN MODERN SUPERSCALAR CPUS ..... 110

**Parkhomenko A.V., Tulenkov A.V., Sokolyanskii O.V., Gladkova O.M., Zalyubovskiy Ya.I.**
RESEARCH&DEVELOPMENT OF WEB-BASED PROTOTYPING METHOD
FOR SMART SYSTEMS DESIGN ..... 118

**Petrova O., Tabunshchyk G.**
THE INFORMATION TECHNOLOGY OF ASSESSMENT
OF THE RELIABILITY OF INDOOR NAVIGATION SYSTEMS ..... 125

**Posokhov I., Paramonova T., Safonova S.**
HARDWARE AND SOFTWARE OF MONITORING INDOOR
MICROCLIMATE PARAMETERS ..... 130

**Prykhodko N.V., Prykhodko S.B.**
THE NON-LINEAR REGRESSION EQUATION TO ESTIMATE
THE SOFTWARE SIZE OF OPEN SOURCE PHP-BASED INFORMATION SYSTEMS ..... 135

**Ruban V.R., Shumova L.O.**
ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS SAFETY BASED
ON TIME-SERIES ANALYSIS BY MEANS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ..... 140

**Savitskaya I.A., Smoliy V.V.**
INTERNET-PLATFORMS MODELS FUNCTIONING AND CMS FOR THEIR SUPPORT ..... 145

**Safonova S., Kovalenko V., Paramonova T.**
DEVELOPMENT OF THE MODEL OF INTERACTION OF COMPUTER
SYSTEMS OF REMOTE TRAINING WITH THE TRADITIONAL SYSTEM OF EDUCATION..... 149

**Sevostyanov O.R., Skarga-Bandurova I.S., Ardel O.V.**
REAL-TIME RSSI TRACKING FROM BLUETOOTH BEACONS
TO IMPROVE INDOOR POSITIONING ACCURACY ..... 154

**Solovjov V., Safonova S.**
DEVELOPMENT OF THE INFORMATION AND STATISTICAL SYSTEM
AT THE CASE OF AUTOMOBILE MARKET OF UKRAINE..... 160

**Shevchenko V.**
SHIPS ELECTRICAL POWER PLANT CONTROL SYSTEM TOP LEVEL
ALGORITHM SYNTHESIS METHOD AND SPECIFICS..... 165

**Barbaruk L.V., Zubarev D.V., Medvedev E.M., Barbaruk V.M.**
USING FUZZY MODELS FOR PLANNING CROP-HARVESTING OPERATIONS
UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS ..... 175

**Hrushka M.O., Skarga-Bandurova I.S., Kotsiuba I.V.**
USING THE DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY TO ENHANCE
THE SECURITY OF RELAY PROTECTION SYSTEMS IN SMART GRID ..... 180

**Kotsiuba I.V., Gusachenko O.M, Chernobrovkina V.O, Startseva J.S.**
ALGORITHM FOR LINE TWO-PHASE DISTANCE PROTECTION OF POWER SYSTEM ..... 186

**Velykzhanin A.Yu., Skarga-Bandurova I.S.**
AUTONOMOUS MONITORING SYSTEM FOR BORDER ZONES AND TERRITORIES..... 195

**Kanakin A.E., Skarga-Bandurova I.S., Scherbakova M.E.**
ELEMENTS OF RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON WEB-ANALYTICS..... 199

**Krytska Ya.O., Skarga-Bandurova I.S., Topchii A.O.**
METHODS AND MODELS FOR DATA ACQUISITION AND PROCESSING IN WATER
MONITORING SYSTEMS BASED ON IOT ..... 205

**Medved I.**
SMALL-CYCLEFATIGUE OF CONSTRUCTION ALLOYS..... 210

**Gorin P., Polyaruch K., Tymkiv D., Romanova V., Dobrunov D.**
FLOWLINES CLEANING METHOD DEVELOPMENT……..213

УДК 004.96

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВІДДІЛУ ПРОДАЖІВ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Акбаров О.В., Щербаков Є.В.**

# RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR THE INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM FOR THE SALES DEPARTMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

**Akbarov O.V. Shcherbakov E.V.**

*У статті розглянуті останні дослідження та публікації з побудови, розробки та впровадження інформаційних систем для промислових підприємств. Виконано порівняльний аналіз та класифікацію наявних на ринку систем. Наведено процеси, що підлягають автоматизації. Новітні інформаційні системи та технології зберігання та обробки інформації сприяють оптимізації прийняття рішень та управління підприємством. Запропоновано структурну модель для практичної реалізації системи для відділу продажів промислового підприємства.*

***Ключові слова:*** *інформаційна система, підприємство, бізнес-процес, клієнт-сервер, модель, технологія, розробка.*

**Вступ.** Комерційна діяльність і функціонування будь-якого підприємства чи організації, як в нашій країні, так і в багатьох розвинених країнах світу, забезпечується за допомогою документації, яка є джерелом, результатом та інструментом управлінської діяльності.

Під документообігом розуміється рух документів з моменту їх отримання чи появи, і повного виконання усього процесу, скерування документа отримувачу або передачі його до архіву. Тривалий період часу основу діловодства будь-якого підприємства чи організації, малого сімейного бізнесу або великого виробничого підприємства, становив в основному тільки паперовий документообіг. Це означає, що для реєстрації вхідної/вихідної інформації використовувалися тільки паперові носії.

Сама технологія такого документообігу передбачала ведення реєстраційне-контрольних форм у вигляді журналів, списків, реєстрів. При цьому кожен документ вимагав додаткової реєстрації за складом, змістом та подальшим його рухом або зберіганням.

Головна проблема такого традиційного ведення документообігу полягала в практичній неможливості централізоване скеровувати документи по різним відділам організації. Витрачаються багато часу та сил на журнали в кожному департаменті чи відділі та на збирання всієї інформації, що вкрай необхідна для роботи підприємства.

Це призводить, в кінцевому результаті, до того, що в деякий час невідомо з якими документами зараз в цілому працює організація, яка історія їх зміни чи едагування, у якому вини стані, а також чим конкретне займаються певні співробітники.

Використання паперового документообігу вимагало істотних матеріальних, кадрових витрат і значних витрат на його обробку. З роками, зі збільшенням кількості накопичуваних документів, процес їх обробки становився все більш складним. Важко і практично неможливо знаходити в такому обсязі будь-який документ, аналізувати документи різних підрозділів підприємства, складати звіти і здійснювати облік та контроль.

**Постановка проблеми.** Активно зростаюча кількість документів та інформації з якою працює підприємство та потреба в своєчасній актуалізації та надійному зберіганні цієї інформації. У цих умовах зростає потреба в системах, які допомагають раціонально використовувати час та людські ресурси. Невпинно збільшується кількість потоків інформації і, отже, збільшується навантаження на персонал підприємства. Знижується ефективність обробки і оперативність пошуку інформації, наприклад, збільшується ризик помилок при виконанні замовлень та інше. Щоб уникнути цих проблем стає все більш актуальною задача використовувати сучасні інформаційні системи, які збирають, обробляють та накопичують інформацію, автоматизують технологічні

процеси, а також процеси комунікації та підтримання постійного зв'язку з клієнтами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій з теми дослідження**. ERP-системи - це програмне забезпечення для планування виробничою діяльністю, автоматизації підприємства, керування людськими ресурсами організації, менеджменту і керування активами, орієнтацію на постійну оптимізацію технологічних та трудових засобів організації за допомоги новітнього аналітичного програмного забезпечення, комунікаційних систем, що забезпечують всі процеси різним напрямам роботи підприємства [1] .

Швидка інтеграція систем організації є необхідною умовою для появи сучасної компанії. Такі системи спочатку використовували тільки виробничі підприємства, а також великими підприємствами незалежно від місця розташування, власника, чи галузі.

Чітке та правильне планування – те найнеобхідніше, без чого, практично неможлива робота будь-якої організації чи установи. Системами управління називають системи, що своїм функціоналом реалізують функції управління. Найважливіше, що реалізує ця система, це оброблювання інформації, планування, облік, аналіз та контроль.

Успішне керування неухильно інтегроване з рухом інформації між пов'язаними між собою різними компонентами системи, а також системи з навколишнім світом. У процесі управління одержують відомості про стан системи в даний момент часу, про досягнення чи недосягнення вказаної мети з тим, щоб впливати на систему і забезпечити виконання управлінських рішень.

Комунікаційна інформаційна система – це величезна кількість інформації, технологій та моделей, технічних, чи програмних засобів, призначених для роботи з інформацією та допомоги приймати правильні управлінські рішення [2] .

Інформаційним систем можна дати визначення, як набір взаємопов'язаних між собою підсистем, які забезпечують збирання, обробляння, накопичення, зберігання і розподілення інформації, щоб приймати рішення та керувати організацією, також в координації й управління інформаційні системи можуть також допомагати менеджменту аналізувати та знаходити нетривіальні рішення нагальних проблем.

Експерти розподіляють системи на три рівні: стратегічного, управлінського та експлуатаційного рівня. Системи розробляються, для обслуговування різних організаційних інтересів [3] .

Необхідність створення комунікаційних систем рівня знать обґрунтовано допомогою, покращенням та управлінням потоками інформації. Програмне забезпечення цього рівня найбільш відомого у розробленого у формі робочих станцій та офісних програм, сьогодні є найбільше зростаючими в сучасному бізнесі.

Рівень управлення призначений контролювати, та управляти і допомагати в прийнятті важливих керівних рішень та адміністративних дій середнього керівної ланки. Ці системи визначають чи ефективно працюють об'єкти та час від часу генерують звіти з отриманими результатами. Наприклад, управлінська система керує логістикою та звітує про рух товарів, роботу відділу продажів, відмічаючи, де загальні втрати перевершують витрати закладені в бюджет [4] .

Нові інформаційні системи втілюють передовий досвід управлінських технологій. Ці системи оптимізують процеси в організації відповідне до найвідоміших досліджень та напрацьованої практики бізнес-менеджменту [5] .

Економічна діяльність у наш час ґрунтується на перетворенні та аналізі інформації, яка передбачає собою цілеспрямований обмін обробленими даними з іншими структурами чи людьми. Інформація покращує впорядкованість та стійкість економічної системи. Корисність інформаційного продукту завжди відносна, оскільки визначається його цінністю для конкретного користувача. Неможливо точно передбачити навіть галузь застосування деяких інновацій. Інформація впливає, як на капіталізацію, так і на виробничі, технологічні, так і ситуацію загалом на ринку.

За необхідності аналізування великих обсягів інформації застосовуються аналітичні системи. Використання цих систем збільшує ефективність і капіталізацію підприємства від застосування інформаційних технологій набагато більше, ніж встановлення перших двох систем, але водночас без них такого ефекту досягти було б неможливо [6] .

Найвірнішим способом оцінити ефективність використання таких технологій є порівняння витрат на їх купівлю, впровадження і покращення капіталізації підприємства після їх впровадження [7] .

Під час реалізації нових інформаційних технологій управління підприємством виникає необхідність перетворення даних на інформацію, а інформації – на знання. [8] .

Сьогодні застосування інформаційних систем для автоматизації виробництва являє собою крайню необхідність, якщо підприємство бажає конкурувати на ринку з конкурентами на рівних. Впровадження інформаційних технологій покращує організацію та управління підприємством [9] .

Підвищення якості роботи вітчизняних установ на вітчизняних та європейських ринках можливе лише прискореною автоматизацією технологічних процесів, які повинні забезпечити постійне використання всього нового, як новітніх технологій, розробки нових видів продукції і надавати послуги найрізноманітнішого характеру та призначення [10] .

**Метою дослідження** є аналіз та розробка інформаційно-комунікаційної системи для відділу продажів промислового підприємства. Головною задачею дослідження є аналіз існуючих систем та технологій, методів, моделей та практична реалізація системи. Розроблювана система повинна бути досконалішою від існуючих на ринку та враховувати недоліки знайдені в системах-конкурентах.

Інформаційна система повинна забезпечувати:

- роботу з вхідними даними, отриманими від користувачів;

- забезпечувати швидкий документообіг між відділами та службами підприємства;
- надійно зберігати дані від можливих зловмисників так, як ця інформація являє собою комерційну таємницю;
- легкою для впровадження в технологічні процеси та пристосованою до різних пристроїв включаючи мобільні.
- підтримувати завантаження вихідних документів;
- забезпечувати підтримку автоматичного формування звітів.

Зберігання всієї інформації в системі реалізовано за допомогою електронних баз даних, що дозволяє структурувати інформацію, з'являється можливість швидкого пошуку необхідних даних.

Для досягнення вищевказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

- здійснити бізнес-моделювання процесів підприємства, для розроблюваної інформаційної системи;
- провести аналіз вимог до системи та її проектування;
- розробити концептуальну і фізичну моделі даних;
- провести оцінку ефективності технології розробки.
- технологічно реалізувати систему

**Огляд та класифікація існуючих систем.**

Західні аналітики розподіляють інформаційні системи на дві категорії: Business Management Systems (BMS) – призначені для бізнес-керування та Enterprise Recourse Planning (ERP) – призначені керувати ресурсами організації.

Інформаційні системи, що призначені для планування і керування усіма процесами на підприємстві побудовані з використання MRP/ERP моделей, як ERP-програми. В них знаходиться описання величезної кількості бізнес - процесів. Програми ERP-типу відповідають на більшість потреб, як середніх, так і величезних підприємств. Всі сучасні інформаційні системи, що розробляються у наш час є кросплатформені, тобто працюють на платформах Windows, Linux OS, Mac OS та інші з СУБД. [3] .

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Підприємство Приватне акціонерне товариство «Рубіжанський картонно-тарний комбінат» працює на ринку тари та упаковки з 1991 року, зайняв лідируючу позицію у виробництві транспортної тари з гофрованого картону в Україні та успішно експортує продукцію у багато країн світу.

Серед багатьох відділів, наявних на підприємстві, розглянуто відділ продажів, його основне призначення - адміністрування і клієнтське обслуговування, планування, оформлення і видача замовлень у виробництво, моніторинг проходження замовлення і т. д. Для успішного функціонування цього відділу необхідна інформаційна-комунікаційна система. Основне призначення інформаційно-комунікаційної системи - контроль проходження замовлення клієнта з моменту розміщення на виробництві і до відвантаження зі складу клієнту.

Система складається з:

- довідників номенклатур товарів;
- документів, що оформляються в електронному вигляді;
- планів, графіків виробництва;
- звітів.

Користувачам дана система необхідна для оформлення документів за договорами з клієнтами, замовлень на виробництво продукції, розпоряджень на відвантаження і виписку рахунків, а також заявок на надання транспорту. Система дозволяє планувати продажі продукції на підставі внесених в систему даних таких, як асортименту, цін і ін., контролювати проходження замовлення у виробництві, формувати звіти по замовленнях, складу, відвантаження, фінансів, планування, логістики.

За допомогою програмного комплексу Microsoft Visio 2016, схематично зображено процеси виробництва, що підлягають автоматизації за допомогою розроблюваної системи.

Менеджер з продажів отримує замовлення від клієнта отримує замовлення та надсилає його на подальшу обробку. Схема отримання замовлень від клієнтів (рис 1).

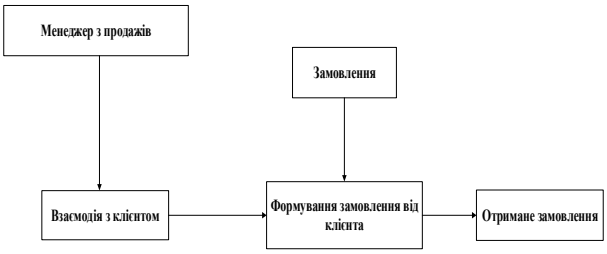



Рис. 1. Схема отримання замовлень від клієнтів

Ціллю даного виробничого процесу є отримання замовлення від клієнта. Після виконання даного процесу, генерується документ, в якому зазначені дані про клієнта та його замовлення.

Отримавши замовлення від клієнта, менеджер прораховує ціни на продукцію для даного клієнта. На рівень цін впливають дуже багато факторів, наприклад, постійні зміни цін на сировину, та з’ясовує можливість виконання вимог покупця. Коли визначено ціни та отримано підтвердження можливості виробництва, покупцеві виставляється рахунок-фактура для сплати за товар. Схема процесу розрахунок з клієнтом (рис. 2).

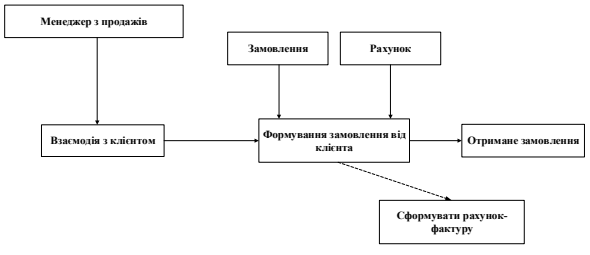



Рис. 2. Розрахунок з клієнтом

Метою даного процесу є виставлення рахунку-фактури клієнтові. Отримуємо документ, що, відображає дані про встановлений рахунок клієнту, вид та кількість замовленої продукції.

Отримавши кошти за продукцію, менеджер передає замовлення на виробництво, та з'ясовує терміни виконання замовлення згідно побажання клієнта. Щоб замовлення було виконане вчасно, увесь час ведеться контроль термінів виконання замовлень. Цей процес є невід'ємною частиною взаємодії з клієнтом. Схема контролю за термінами виробництва та поставки продукції (рис. 3).

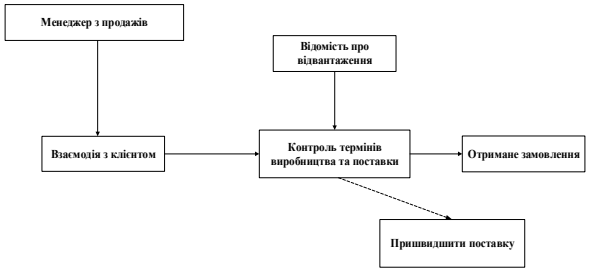



Рис. 3. Контроль за термінами виробництва та поставки

Існує вірогідність, що клієнт замовить продукцію, що раніше не вироблялася та для неї немає потрібної сировини та інгредієнтів. Якщо об'єм замовлення достатній для внесення змін в технологічний процес то приймається рішення прийняти вимоги покупця, спеціально для нього закуповується потрібна сировина та матеріали. Схема формування замовлення на сировину та матеріали (рис. 4).

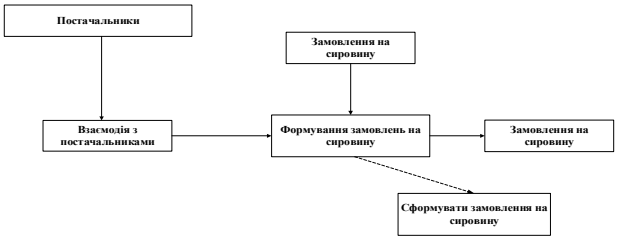



Рис. 4. Формування замовлення на сировину

Метою даного процесу є отримання формування замовлення на сировину. Звіт, який генерується в результаті виконання, відображає дані про постачальника і сировину яку необхідно закупити.

Отримавши всю необхідну сировину та кошти за товар, починається виробництво продукції, проте замовників дуже багато та у кожного окремі вимоги та терміни і всі їх потрібно додержуватись. Для того щоб співробітникам було зрозуміло коли, як, та з якою послідовністю виконувати замовлення для цього він формується план виробництва та погоджується з клієнтами. Схема складання плану виробництва (рис. 5).

В результаті, який формується план виробництва, що відображає дані про замовлення клієнта та план та терміни його виконання. Отримавши дані про терміни виготовлення продукції менеджер планує доставку до клієнта за допомогою служби логістики. Схема планування доставки та замовлення транспорту (рис. 6).

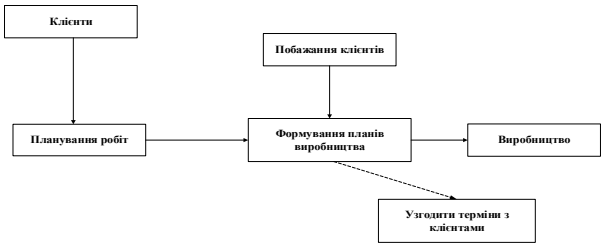



Рис. 5. Складання плану виробництва

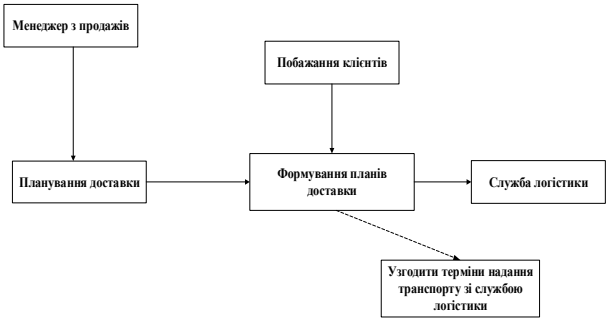



Рис. 6. Складання плану доставки продукції

Отримаємо планування доставки продукції кожному з клієнтів згідно вимог. Вихідний документ, який формується – це план доставки продукції, що відображає дані про продукцію відповідно до замовлення клієнта та терміну отримання ним товару. Відповідно до плану служба логістики надає транспорт для відвантаження товару кожному покупцеві. Отримавши товар, покупець дає зворотній зв'язок про якість товару, менеджер заносить його у систему. Інколи покупці не задоволені покупкою, тоді вони надсилають рекламації, які теж необхідно якомога швидше опрацювати. Представлено схему отримання відгуку від клієнта (рис. 7).

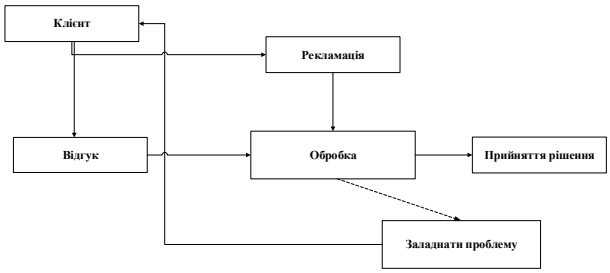



Рис. 7. Отримання відгуку від клієнта

На основі дослідження всіх процесів виробництва, побудовано модель розроблюваної інформаційної системи з відображенням кожного елементу системи. Модель інформаційної системи (рис. 8).

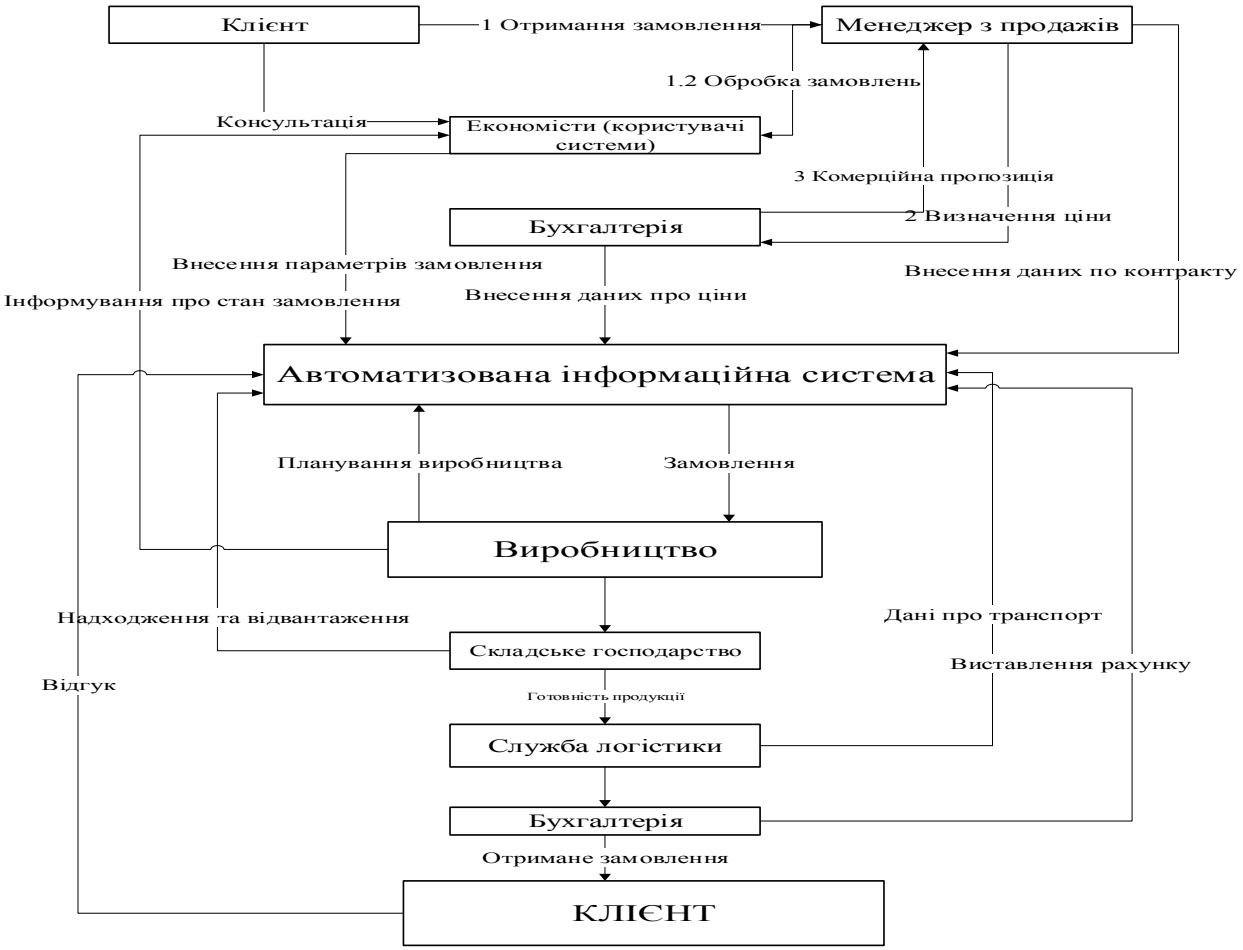



Рис. 8. Модель інформаційної системи

На основі моделі інформаційної системи реалізовано інформаційну система для відділу продажів, що працюватиме застосовуючи такі методи та засоби, як: клієнт-серверну архітектуру, основною перевагою якої є відсутність перевірки коду програмою-сервером та програмою-клієнтом, бо вся обробка інформації буде виконуватися на сервері, то вимоги до технічних характеристик комп'ютерів користувачів, на яких встановлений клієнт, знижуються, всі дані зберігаються в базі даних, що зберігатиметься на сервері, який, я захищений набагато краще ніж більшість клієнтів.

**Висновки.** У статті розглянуті останні дослідження та публікації з побудови, розробки та впровадження інформаційних систем для промислових підприємств. Виконано порівняльний аналіз та класифікацію наявних на ринку систем. Наведено процеси, що підлягають автоматизації. Новітні інформаційні системи та технології зберігання та обробки інформації сприяють оптимізації прийняття рішень та управління підприємством. Запропоновано нову структурну модель для практичної розробки системи для відділу продажів промислового підприємства. Оптимізація роботи підприємства за рахунок автоматизації технологічних процесів розв'язує проблему обробки великих обсягів інформації за короткий проміжок часу, що забезпечує безперервний зв'язок з партнерами та споживачами та дає можливість оперативне реагувати на ринкові зміни, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках.

**Література**

1. ERP-Системи URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERP (дата звернення: 12.10.2018).
2. Избачков, Ю.С. Информационные системы. Учебник для вузов /Ю.С. Избачков, В.Н. Петров 2-е изд.–СПб.: Питер, 2012 729с
3. Мишин В.М. Исследование систем управления: Учебник для вузов. — 2-изд. стереотип. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2013. - 527 с. - (Серия «Профессиональный учебник: Менеджмент»).
4. Розроблення інформаційної системи для управління ресторанним бізнесом. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/29919/1 /38_395-409.pdf (дата звернення: 15.10.2018)
5. Макарова Н. В. Інформатика для вузів / Н. В. Макарова. – М.: Издательский дом “Питер”, 2011. – 576 с.
6. Компьютеризация информационных процессов на промышленных предприятиях /В.Ф. Ситник, С.П. Риппа и др. - К.: Техника; - Катовице: Экономическая академия им. Карола Адамецкого, 2010.)
7. А.А. Безбогов, А.В. Яковлев, В.Н. Шамкин /Методы и срецтва защиты компьютеной информации, ТГТУ, Тамбов, 2006, 192с.

8. Литвин І. Інформаційні процеси в управлінні. - Тернопіль: Економічна думка, 2017 р.
9. Анализ требований к автоматизированным информационным системам. URL:http://www.INTUIT.ru. Дата звернення 15.10.2018
10. Колесников, С.Н. Инструментарий бизнеса: современные методологии управления предприятием. - М.: Издательско-консультационная компания «Статус-Кво», 2013. -336с.
11. В продаже "Информационная система предприятия" – конфигурация для работы с корреспонденцией и документами. URL: http://www.cints.ru/news/244/). Дата звернення 30.10.2018
12. Вендров, А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем./А.М. Вендров. URL: http://www.infocity.kiev.ua. Дата звернення: 25.10.2018

**R e f e r e n c e s**

1. ERP-Sistem URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ERP (applic- ation date: 12.10.2018).
2. Izbachkov, Yu.S. Information systems. Textbook for high schools /Yu.S. Izbachkov, VN Petrov 2nd ed. - St. Petersburg: Peter, 2012.
3. Mishin V.M. Research of control systems: Textbook for high schools. - 2nd ed. stereotype. - Moscow: UNITI-DANA, 2013 - 527 pp. - (Series "Professional Textbook: Management").
4. Development of an information system for restaurant business management. URL: http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/29919/1/38_395-409.pdf (application date: 15.10.2018)
5. Makarova NV Informatics for high schools / N.V. Makarov. - Moscow: Publishing House "Peter", 2011. - 576 pp.
6. Computerization of information processes at industrial enterprises / VF. Sitnik, SP Rippa et al. - K .: Technics; - Katowice: Economics Academy Karol Adametsky, 2010.)
7. AA Bezbogov, AV Yakovlev, VN Shamkin / Methods and periods of computer information protection, TGTU, Tambov, 2006, 192 p.
8. Lytvyn I. Information processes in management. - Ternopil: Economic Thought, 2017 p.
9. Analysis of requirements for automated information systems. URL: http: //www.INTUIT.ru. Date of application 15.10.2018
10. Kolesnikov, SN Business toolkit: modern enterprise management methodologies. - M .: Publishing and consulting company "Status-Kvo", 2013. -336s.
11. The "Information System of the Enterprise" on sale is a configuration for work with correspondence and documents. URL: cints. ru/news/244/.Date of the application dated 30.10.2018
12. Vendrov, AM CASE technology. Modern methods and means of designing information systems. / AM Wendrov - URL: Date of application: 25.10.2018

**Акбаров А.В., Щербаков Е.В., Исследование и разработка программных средств информационно-коммуникационной системы для отдела продаж промышленного предприятия.**

*В статье рассмотрены последние исследования и публикации по построению, разработки и внедрения информационных систем для промышленных предприятий. Выполнен сравнительный анализ и классификацию имеющихся на рынке систем. Приведены процессы, подлежащих автоматизации. Новейшие информационные системы и технологии хранения и обработки информации способствуют оптимизации принятия решений и управления предприятием. Предложена структурная модель для практической реализации системы для отдела продаж промышленного предприятия.*

***Ключевые слова:*** *информационная система, предприятие, бизнес-процесс, клиент-сервер, модель, технология, разработка*

**Akbarov O.V., Shcherbakov E.V., Research and development of information and communication software systems for the sales department of the industrial enterprise.**

*The article deals with the latest research and publications on the construction, development and implementation of information systems for industrial enterprises. The comparative analysis and classification of market-based systems is carried out. The processes are subject to automation. The latest information systems and technologies for storage and processing of information help to optimize decision making and enterprise management. A structural model for the practical implementation of the system for the sales department of an industrial enterprise is proposed.*

***Key words****: information system, enterprise, business process, client-server, model, technology, development, document.*

**Акбаров Олександр Володимирович**, бакалавр напряму підготовки комп'ютерна інженерія, студент, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: akbarov.alex@gmail.com.
**Щербаков Євген Васильович**, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: gkvarc@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Рязанцев О.І.***

Стаття подана 12.11.2018

УДК 519.711.2:681.326.7

# ПРО РЕАЛІЗАЦІЮ СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ УПРАВЛЯЮЧИХ ПРОГРАМ

**Бережний А.Г., Куркчі А.П., Ларгін В.А.**

# ABOUT REALIZATION OF A WAY FOR IMPROVING THE FAULT TOLERANCE OF GOVERNING PROGRAMS

**Berezhnii A.G., Kurkchi A.P., Largin V.A.**

*У статті розглянуті питання підвищення відмовостійкості управляючих програм шляхом застосування принципу мультиверсійності при виконанні програм на мультиядерних мікропроцесорах. Запропоновано спосіб організації відмовостійкого обчислювального процесу в керуючому контролері шляхом впровадження і практичної реалізації трьохверсійного програмування в процес створення ПЗ.*

***Ключові слова:*** *відмовостійкість, мультиверсійність, програмне забезпечення, функціональні блоки*

**Вступ.** Однією з основних проблем при розробці систем управління критичними об'єктами є створення високонадійного програмного забезпечення (ПЗ) керуючих контролерів [1]. При розробці ПЗ повинні вирішуватися два основні завдання:

– створення надійного (безпомилкового) базового програмного забезпечення;

– проектування і включення програмних засобів для забезпечення живучості при програмних, інформаційних і апаратних відмовах.

Відомим методом підвищення достовірності розроблювального ПЗ є застосування об'єктно-орієнтованого і структурного підходів до програмування, перш за все шляхом зменшення числа проектних помилок. При налагодженні написаних програм важливо ретельно провести їх тестування [2]. Повне тестування програми зазвичай нездійсненно на практиці, а експериментальне тестування програм може бути доказом наявності помилок, але ніколи не доведе їх відсутності. Тому підвищення достовірності обчислювального процесу з урахуванням можливих прихованих помилок в програмі є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема відмовостійкості в керуючих системах розглядалися в таких роботах: R.T. Wood [3] - розглянуто використання диверсійності у ядерній промисловості, В.С. Харченко [4-6] - проаналізовано моделі багатоверсійних інформаційно-управляючих систем, М.А. Ястребенецького [7], В.В. Скляра [8] - переглянуто можливі способи адаптації у багатоверсійних мажоритарно-резервованих комп'ютерних системах управління, А.В Волкова [9], Ю.Н. Соколова [10] - проаналізовано метод оцінки надійності програмно-технічних комплексів, Є.В. Брежнєва та В.С. Харченко [11] - розглянуто метод оцінки безпеки критичної енергетичної інфраструктури, А.В. Федухіна [12], Н.В. Якимця [13] - розглянуто моделі проектування відмовостійких цифрових систем та ін.

Попри значний внесок в розвиток теорії і практики відмовостійкості керуючих систем, проблема підвищення достовірності розроблювального ПЗ вимагає подальших досліджень з урахуванням додаткових можливостей, що надаються новими розробками електронних компонентів і інформаційних технологій.

**Постановка проблеми.** Найбільш імовірним джерелом систематичних відмов систем управління є приховані дефекти програмних засобів, внесені при розробці, що не виявлені при тестуванні і верифікації і які з'являються при певному наборі вхідних даних або характеристиках фізичних або інформаційних середовищах. Резервування системи з виконанням ідентичних програмних додатків не вирішує проблему усунення таких дефектів, оскільки вони тиражуються і з'являються одночасно, викликаючи фатальну відмову.

Існує кілька методів мінімізації помилок в програмному забезпеченні. Одним з них є мультиверсійне програмування [14], що являє собою незалежну генерацію $N \geq 3$ функціонально еквівалентних програм (мультіверсій) відповідно до ідентичних вихідних специфікацій на проектування. Для цих N програм надані засоби конкурентного виконання, по ходу якого в певних точках контролю

("cc-points" от cross-check points, точки перехресного контролю) програмами генеруються вектори порівняння ("c-vectors" від comparison vectors, вектори порівняння). Складові векторів порівняння і контрольні точки генерації "с-векторів" попередньо визначені ще на етапі вихідних специфікацій. Застосування мультиверсійного програмування дозволяє знизити ризики систематичних відмов, оскільки в разі проектних дефектів зменшується ймовірність одночасної й однотипної відмови різних версій ПЗ. Тому практична реалізація принципу мультіверсійного програмування є актуальним завданням.

**Метою даної статті** є висвітлення способу організації надійного відмовостійкого обчислювального процесу в керуючому контролері шляхом впровадження і практичної реалізації принципів мультиверсійного програмування в процес створення ПЗ.

**Виклад основного матеріалу** В даний час в системах управління широкого поширення набули контролери з мікропроцесорами фірми Intel. Поява високошвидкісних багатоядерних мікропроцесорів (англ. Multi-core) створило передумови для практичної реалізації мультиверсійного обчислювального процесу шляхом апаратної та тимчасової надмірності. Реалізація надійного обчислювального процесу буде розглянуто на прикладі програмного забезпечення, що виконується в контролері з чотирьохядерним процесором за схемою «2 із 3». Вибір схеми обробки за схемою «2 із 3» обумовлений наступним фактором: схеми типу «1 із N» (N=1,2,…) не відповідають вимогам відповідних стандартів (наприклад, [15]) і не можуть застосовуватися в системах управління реального часу (не володіють функціональною безпекою).

Схеми типу «N із N» (N = 1,2, ...) не мають великої надійності. Наприклад, користуючись [16], можна розрахувати, що в схемі «2 із 2» при ймовірності появи прихованого дефекту в циклі управління $p=10^{-7}$ в одній з двох гілок програми середній час напрацювання на відмову системи управління рівне $T_{ср}\approx 14$ h при часу циклу t = 0,01 s.

Схема «2 із 3» при тій же ймовірності появи прихованого дефекту забезпечує середній час напрацювання на відмову $T_{ср}\approx 5285$ років. Застосування схеми «2 із 3» (на відміну від схеми «2 із 2») дозволяє також однозначно визначати гілку програми з проявленим дефектом і міняти результат виконання цієї гілки на вірний. Застосування схем «2 із N» (N = 4,5, ...) недоцільно, тому що на практиці не потрібно такі наднадійні системи і вони складні в реалізації.

Програмне забезпечення систем управління, що функціонує в контролерах, складається з двох блоків - системного і функціонального програмного забезпечення (ФПЗ).

Ядром системного ПЗ є спеціалізована операційна система (ОС) реального часу. Операційна система визначає:

– підтримку функціонування ФПЗ відповідно до налаштованих модулів операційної системи на конфігурацію конкретного виконання і необхідний набір функцій;

– обмін інформацією з зовнішніми абонентами по лініях зв'язку мережевих контролерів;

– обмін інформацією з модулями зв'язку з об'єктами за допомогою введення даних і формування керуючих впливів на об'єкт;

– контроль і захист від несанкціонованого доступу;

– забезпечує можливість паралельного в часі функціонування в рамках одного мікроконтролера (на трьох ядрах) трьох ідентичних по функції гілок однієї програми з процедурами порівняння результатів виконання цих гілок і прийняттям рішень щодо подальшого функціонування за результатами порівняння. Даний режим функціонування забезпечує диверсійність реалізації ФПЗ; контроль працездатності технічних і програмних засобів в процесі функціонування;

– перехід в безпечний режим функціонування при відмові.

ФПЗ реалізує функції системи управління. Воно складається з пакетів програм, що реалізують типові функції:

– управління об’єктом;

– перевірка умов безпеки;

– контроль над об’єктом.

ФПЗ можна умовно розділити на кілька типових програм, що вирішують основні функції та функції взаємодії з персоналом і обладнанням.

База даних включає наступні групи параметрів:

– дані про поточний стан об'єктів;

– команди управління від користувача;

– параметри функціонування програм, сформовані на попередньому такті роботи;

– узагальнені дані про поточний стан об'єктів і результати їх контролю;

– дані результатів перевірки умов безпеки;

– команди управління для об'єктів;

– параметри функціонування програм, сформовані для наступного такту роботи.

Аналіз варіантів побудови ФПЗ показує, що для забезпечення захисту систем управління від систематичних відмов доцільно застосування варіанту, який заснований на принципі «Різні алгоритми, логіка й програмна структура» із залученням трьох незалежних між собою програмістів. При виборі мов трьохверсійного програмування необхідно керуватися стандартом IEC 61131-3 [17], загальновизнаного у світі стандарту по мовах технологічного програмування для програмованих контролерів.

IEC 61131-3 підтримує засоби для паралельного виконання різних фрагментів програми. На основі аналізу IEC 61131-3 до практичної реалізації можна рекомендувати для

першої версії ПЗ - асемблер (IL), другою версією - C++ (клас ST), третій - відповідає класу FBD.

Робота мультиверсійного програмування демонструється на прикладі реалізації функціональних блоків (ФБ) (рис. 1).

До операційної системи входить диспетчер ФБ. Диспетчер ФБ запускає паралельно три функціонально ідентичних ФБ. Для очікування закінчення виконання трьох ФБ використовується команда типу «Multiple wait» (очікування декількох подій). Диспетчер ФБ визначає мажоритарним методом «2 із 3» вірний результат. У разі невідповідності результату одного ФБ відповідне повідомлення передається підсистемі верхнього рівня (для повідомлення оператору, архівації та ін.). Вірний результат виконання записується в базу даних (БД), процес триває, на відміну від двухверсійного варіанту, коли система управління повинна перейти в безпечний стан.

Виконуваний модуль ФБ являє собою фрагмент коду, який запускається диспетчером переходом по таблиці ФБ згідно з номером блоку - першим словом структури поточної викликаючої послідовності. Старший байт слова - номер групи - відповідає функціональному призначенню диспетчера, молодший - вказує безпосередньо на місце адреси модуля блоку в таблиці.

Алгоритм виконання циклу ПЗ наступний (рис. 2):

– запуск трьох модулів ФБ в мікроконтролері;

– виконання модулів ФБ;

– формування результату по принципу мажорірованія «2 із 3»;

– сповіщення оператора, якщо на одному з ланок знайдено помилку;

– запис результату в БД;

– установ покажчика в списку викликів на наступний ФБ.

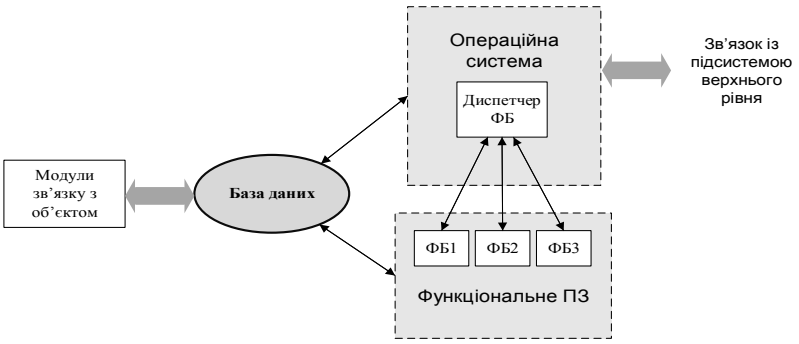



Рис. 1. Структура ПЗ

Рис. 2. Виконання циклу ПЗ

**Висновок** У статті розглянуто спосіб практичної реалізації трехверсійного керуючого обчислювального процесу в багатоядерному мікропроцесорі керуючого контролера. Даний спосіб дозволяє знизити ризики відмов від прихованих помилок, оскільки в разі проектних дефектів зменшується ймовірність одночасної і однотипної відмови різних версій ПЗ. При застосуванні даного методу також підвищується відмовостійкість ПЗ шляхом реалізації принципу мажорірованія «2 із 3» й підвищується коефіцієнт готовності керуючої системи. У системах управління з високими вимогами до надійності розглянутий спосіб може застосовуватися разом з традиційними способами резервування апаратури, наприклад, в контролерах з трьома мікропроцесорами.

**Література**


1. Єлісєєв В.В., Ларгін В.А., Пивоваров Г.Ю. Програмно-технічні комплекси АСУ ТП: Навч. посібник - К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2003.
2. Якість програмного забезпечення глава 10 [Електронний ресурс]: ISO / IEC TR 19759: 2005 Режим доступу: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:tr:19759:ed-2:v2:en. (Дата звернення: 01.10.2018)
3. Р. Т. Вуд Різноманітні стратегії, спрямовані на пом'якшення наслідків вразливості, що виникла внаслідок загальних причин. Сьоме американське ядерне товариство Міжнародне місце зустрічі з ядерних установок інструменти, контрольні та людських-машинних інтерфейсних технологій NPIC & HMIT 2010, Лас-Вегас, штат Невада, 7-11 листопада 2010 року на CD-ROM, Американське ядерне товариство, Парк LaGrange, IL (2010).
4. Харченко В. С., Скляр В. В., Токарев В. І. Моделі відмовобезпечних структур цифрових систем контролю і управління // Системи ОБРОБКИ інформації.-Х .: ХВУ.-2003 Вип. - 2003. - Т. 4. - С. 200-205.
5. Харченко В.С. Інформаційна технологія підтримки визначення компонентних функціональних структур живучих бортових інформаційно-керуючих систем / В.С. Харченко, Н.П. Бородавка // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - 2007. - № 1 (13). - С. 82-86.
6. Харченко В.С. Автоматні моделі багатоверсійних інформаційно-керуючих систем / В.С. Харченко, В.В. Скляр, В.А. Головір // Системи ОБРОБКИ інформації. - 2007. - № 1 (59). - С. 108-109.
7. М.А. Ястребенецький, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградська та ін. Безпека атомних станцій: Інформаційні управляючі системи: монографія /; під ред. М.Я. Ястребенецький. К.: Техніка, 2004. 472 с.
8. В. В. Скляр, В. С. Харченко, "Відмовостійкі комп'ютерні системи управління з версійно-порогової адаптацією: способи адаптації, оцінка надійності, вибір архітектури", Автомат. і телемех., 2002 № 6, 131-145; Autom. Remote Control, 63: 6 (2002), 991-1003
9. Волкової А.В. та ін. Масштабовані багатоверсійні технології для критичних додатків. Лекції та практикум / Харченко В.С. (Редактор). - МОН України, ХАІ, 2013. - 202с.
10. Соколов Ю.М. Інструментальне оцінювання надійності програмно-технічних комплексів при зростанні інтенсивності відмов / Ю.М. Соколов, В.С. Харченко, Ю.Л. Поночовний // Системи ОБРОБКИ інформації. - 2014. - № 2 (118). - С. 205-211.
11. Брежнєв Є.В. Метод оцінювання безпеки критичної енергетичної інфраструктури з урахуванням надійності цифрової підстанції / Є.В. Брежнєв, В.С. Харченко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - 2014. - № 3 (16). - С. 138-143.
12. А.В. Федухін, А.А. Муха. Забезпечення живучості систем протиаварійної автоматики на гідроелектростанціях. Математичні машини і системи, 2018, № 2. Стор. 169- 194.
13. Якимець Н.В. Відмовостійкі цифрові системи керування з програмованою логікою на основі частково працездатних автоматів: моделі та реалізація / Н.В. Якимець, В.С. Харченко // Системи ОБРОБКИ інформації. - 2007. - № 4 (62). - С. 134-138.
14. Авізеніс, А. Про реалізацію N-версії програмування програмного відмовостійкості під час виконання. / А. Авізеніс, Л. Чен. В Proc. IEEE COMPSAC 77, с. 149-155, 1977.].
15. IEC 61508: 1-6: 2012. Функціональна безпека електричних / електронних і програмованих електронних систем. Частина 3. Вимоги до програмного забезпечення
16. Гнеденко Б.В., Бєляєв Ю.К., Соловйов А.Д., Каштанов В.А. Математичні методи в теорії надійності. 2013. Книжковий дім «ЛІБРОКОМ». М. 550 с.
17. Програмувальні контролери - Частина 3: Мови програмування [Електронний ресурс]: IEC 61131-3:2013 Режим доступу: https://webstore.iec.ch/publication/4552. (Дата звернення: 04.10.2018)


**References**


1. Eliseev V.V, Largin V.A., Pivovarov G.Y. “Program-technical complex of industrial control system: Navch. School - K.: Vidavnicho-Polygraphic Center "Kyiv University", 2003
2. Software quality chapter 10 [Electronic resource]: ISO / IEC TR 19759: 2005 Mode of access: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:tr:19759:ed-2:v2:en (Applying Date: 10/01/2018)
3. Wood R. T. Diversity strategies to mitigate postulated common cause failure vulnerabilities. Seventh American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies NPIC&HMIT 2010, Las Vegas, Nevada, November 7-11, 2010, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL (2010).
4. Kharchenko V.S., Sklyar V.V., Tokarev V.I. Models of the fail-safe structures of digital monitoring and control systems // Sistemki informatsi. – Kh .: KhVU. – 2003. – Vip. - 2003. - V. 4. - pp. 200-205.
5. Kharchenko V.S. Information technology to support the definition of component functional structures of robust on-board information management systems / V.S. Kharchenko, N.P. Wart / / / Zbirnik naukovih prats of Kharkiv National University of the Seventh Force. - 2007. - № 1 (13). - pp. 82-86.
6. Kharchenko V.S. Automaton models of multi-version information control systems / V.S. Kharchenko, V.V. Sklyar, V.A. Golovir // Processing Systems Information. - 2007. - № 1 (59). - pp. 108-109.

7. Yastrebenetsky, M.A. Vasilchenko V.N, Vinogradskaya S.V.. Safety of nuclear power plants: Information control systems: monograph /; by ed. M.Y. Yastrebenetsky. K.: Tehnika, 2004. 472 p.
8. Sklyar V.V., Kharchenko V. S., "Fault-tolerant computer control systems with version-threshold adaptation: methods of adaptation, reliability estimation, choice of architectures", Avtomat. and telemeh., 2002, No. 6, 131-145; Auto Remote Control, 63: 6 (2002), 991-1003
9. Volkovoy A.V. and others. Scalable multi-version technologies for critical applications . Lectures and practical work / Kharchenko V.S. (editor). - MES of Ukraine, KhAI, 2013. - 202s.
10. Sokolov Y.N. Instrumented assessment of the reliability of software and hardware complexes with an increase in the failure rate / Yu.N. Sokolov, V.S. Kharchenko, Yu.L. Ponochovny // Processing Systems Information. - 2014. - № 2 (118). - p. 205-211.
11. Brezhnev E.V. Method for assessing the safety of a critical energy infrastructure taking into account the reliability of a digital substation / E.V. Brezhnev, V.S. Kharchenko // Science and Technology of the Forces of the Forces of Ukraine. - 2014. - № 3 (16). - p. 138-143.
12. Feduhin A.V., Muha Ar.A.. Ensuring the survivability of emergency control systems at hydroelectric power plants. Mathematical Machines and Systems, 2018, No. 2. Page. 169-194.
13. Yakimets N.V. Fault-tolerant digital control systems with programmable logic based on partially working automata: models and implementation / N.V. Yakimets, V.S. Kharchenko // Processing Systems Information. - 2007. - № 4 (62). - p. 134-138.
14. Avizienis, A. On the implementation of N-version programming for software fault-tolerance during execution. / A. Avizienis, L. Chen. In Proc. IEEE COMPSAC 77, c. 149-155, 1977.].
15. IEC 61508: 1-6: 2012. Functional safety of electrical / electronic and programmable electronic systems. Part 3. Software Requirements
16. Gnedenko BV, Belyaev Yu.K., Solovyov A.D., Kashtanov V.A. Mathematical methods in the theory of reliability. 2013. The book house "LIBROKOM". M. 550 s.
17. Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages [Electronic Resource]: IEC 61131-3: 2013 Access Mode: https://webstore.iec.ch/publication/4552. (Date of appeal: 10.4.2018)

**Бережной А.Г., Куркчи А.П., Ларгин В.А. Про реализацию способа повышения достоверности выполнения управляющих программ**

*В статье рассмотрены вопросы повышения отказоустойчивости управляющих программ за счет применения принципа мультиверсионности при выполнении программ на мультиядерном микропроцессоре.*

***Ключевые слова:*** *отказоустойчивость, мультиверсионность, программное обеспечение, функциональные блоки*

**Berezhnoy A.G., Kurkchi A.P., Largin V.A. About realization of a way for improving the fault tolerance of governing programs**

*The article deals with the issues of increasing the failure rate of control programs by applying the principle of multiversionality when executing programs on the multicore microprocessor.*

***Key words:*** *fault tolerance, multiverse, software, functional blocks*

**Бережной Анатолій Геннадійович** – студент, anatoliy.berg95@gmail.com
**Куркчі Антон Павлович** – студент, mexanikoooo77777@gmail.com
**Ларгін Віктор Анатолійович** – к.т.н., доцент СНУ ім. В. Даля, viktorlargin1@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Рач В.А.***

Стаття подана 11.10.2018

UDC: 004.032.2

# SENSOR FUSION IN WEARABLE IoT HEALTH MONITORING SYSTEM

**Biloborodova T.O., Ardel O.V., Derevyanchenko V.S., Babaev Sh.O.**

# ПОЄДНАННЯ ДАТЧИКІВ В IOT-СИСТЕМІ МОНІТОРИНГ У ФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ

**Білобородова Т.О., Ардель О.В., Дерев'янченко В.С., Бабаєв Ш.О.**

*Wearable IoT-based systems are used for health state monitoring. Monitoring includes several parameters of the health state received from the device. Many simultaneous measurements of the health status obtained from several sensors are integrated into the wearable body area network (WBAN). The important task that directly effects to monitoring system performance is a data fusion from several heterogeneous sources. The effective approach for sensor fusion is currently an actual task. The article presents the design, development, and implementation of the IoT-based wearable system for biomedical monitoring. The stages of research include (1) development and implementation of the wearable device, so-called wearable body area network (WBAN) of biomedical sensors for health state monitoring; (2) data acquisition and collection technique of biomedical physical activity parameters; (3) Bayesian approach for sensor data fusion.*

**Keywords***: wearable health monitoring system, IoT-based system architecture, sensor fusion, Bayesian approach*

## 1 Introduction

Activity detection and classification using different sensor modalities have emerged as actual technology for real-time and autonomous monitoring in behavior analysis, ambient assisted living, the activity of daily life, elderly care, rehabilitation, entertainments and surveillance in smart home environments.

Information technology and IoT development allow monitoring of a human health state using inexpensive, wearable devices. Health monitoring systems are the most common among of IoT systems. It's been designed for the acquisition, processing, collection, and analysis of human health state data.

Current trends in the development of vital sign monitoring technologies demonstrate that the future points in the direction of the introduction of sophisticated diagnostic devices that integrate several diagnostic measures into one all-purpose instrument or probe.

There are several challenges associated with data sensing. A few of the challenges are:

- A distributed environment of the wearable sensors networks which are the subset of IoT.

- The highly heterogeneous nature of IoT due to various heterogeneous devices and data.

- Nonlinearity and tracking issues like multi-target tracking, cost-effectiveness, error mitigation, asynchronous and track-to-track problems.

There are many trends in the implementation of fusion strategies to combine sensors data, extract features and apply classifiers to different issues, offer higher generalization, and tackle challenging problems.

Heterogeneity in the IoT environment is a challenging issue to handle during system integration due to disparate sources of data. These data sources cannot be combined as it is, methods are required to transform heterogeneous data to homogeneous space. Further heterogeneous datasets add uncertainty. Complex multivariate relationships among the datasets. However, fusing data from heterogeneous observations promises to find complex multivariate relationships among the data sets.

In this paper, the IoT wearable system for health monitoring with data acquisition and data management is described. The proposed system presents new contributions since it introduces the use of a novelty sensor data fusion for data management, the application of Bayesian approach, which allows one to detect and classify different kinds of physiological state of people.

In this paper: Section 2 presents a techniques overview of health monitoring systems. Section 3 describes the proposed health monitoring systems. In Section 4 present biomedical data acquisition techniques. Section 5 provides a brief description of the data fusion technique and present the result of biomedical data fusion.

## 2 Related work

The information technology modern innovation is a reason for the development of the health monitoring system using wearable devices. In article [1] present introduction to wearable medical sensor-based systems, components that constitute such systems, challenges associated with their design and development. The

authors described various services, applications, and systems that have been developed based on wearable medical sensor-based systems and discussed their design goals and challenges systems. In research [2] the technology trends of wearable body sensor networks and some key techniques of future wireless health care services based on wearable body sensor networks are discussed. The authors [3] present the development of a wearable heart rate monitoring system. They have developed the wearable device for real-time acquisition and analysis of heart rate signal. Data is stored on the server and it's available for viewing status. Data transmission is carried out using a smartphone. In research [4] mobile health monitoring application is described, that includes a real-time signal receiver, ECG signal processing, and visualization, data management.

Wearable health monitoring systems are most often represented several sensors that record various parameters of the user's physiological state. The obtained sensor signals are heterogeneous, measured by different units. It's can affect the correctness of data analysis.

Data fusion of human health feature for knowledge discover provides excellent means to combine heterogeneous sensor data. Features extracted from sensor data are combined using some methods.

Data fusion techniques classified [5] based on the mathematical methods as follows:

- Probability-based methods including Bayesian analysis, statistics, and recursive operators.
- Artificial Intelligence based techniques including classical machine learning, fuzzy logic, and genetic evaluation.
- Theory of Evidence-based data fusion methods.

Probabilistic techniques are the most classical, are less complex and the most widely used for data fusion. The some of the most widely used probability-based methods for data fusion in recent times are Bayesian theory, Markov Chain and the Monte Carlo method. The Bayesian approach constitutes a prior definition, its specifications and posteriors computations. Several Bayesian approach-based data fusion methods are proposed in [6, 7, 8]. Bayesian approach for multi-channel data fusion of heart rate used in [9].

In the health status monitoring system authors [10] also applied the analysis based on Bayesian probability theory.

## 3 IoT-based wearable system for health monitoring

### 3.1 System Design

In this section the stages of wearable IoT-based health monitoring system design are present.

WBAN is a subset of wearable biomedical sensors for control, stimulation, treatment, substitution of the biological and physical functions of the human organism [11]. The biomedical sensors are directly integrated into a wearable device, thus forming a wearable body area network (WBAN). WBAN controls the physiological parameters of the human body and is used for data acquisition, collection, and transmission [1].

IoT wearable system for health monitoring includes following components.

*Health monitoring device*

The wearable device is responsible for data transmission and then transmitting to the gateway through a wireless network.

*Transmission and storage of health monitoring data*

The power supply of a wearable device is limited and it's using for continuous data storage and analysis is beside the purpose. Data collection and transmission can be carried out in real-time or packet data transmission to the remount server. It provides fast and convenient storage of user's physiological data. Complete user's monitoring data, processed data is available through a web application. Information is available for the user or person who has the appropriate access can get information to user's personal data.

*Web-application for remount health state monitoring*

The user can access the cloud storage and health state data through a web application. In addition to real-time signal data visualization, there is also a possibility the user's historical data, selecting of the health state data period.

The architecture of the developed wearable health monitoring system is present by three main components as shown in Fig.1.

Device level is present by WBAN, that includes the next sensors: accelerometer, heart rate sensor, body and environmental temperature sensors. WBAN receive the physiological signals of the user's organism, environment, and directly represents as a wearable device.

Data from the device is transmitted in real time or as the packet data to the remount server for further processing and analysis.

Data access is carried out through a web application.

### 3.2 Wearable device level

The wearable device is responsible for health monitoring data acquisition, collecting and it transmitting to the gateway through a wireless network. The device location is the forearm. This device location will make it possible to use more sensors and obtain more accurate data, to find hidden patterns using same additional sensors in the future.

As shown in Fig. 2, the health state monitoring node of the developed system includes: 1) sensors module, 2) controller module with a wireless adapter, and 3) power module.

1) *Sensors module* - is the basis of the monitoring device. It is responsible for the user's health state data obtaining. Module presented by the following sensors: accelerometer, heart rate sensor, body, and environmental temperature sensors. Through sensors certain parameters of the user's and the environment physiological state are collected:

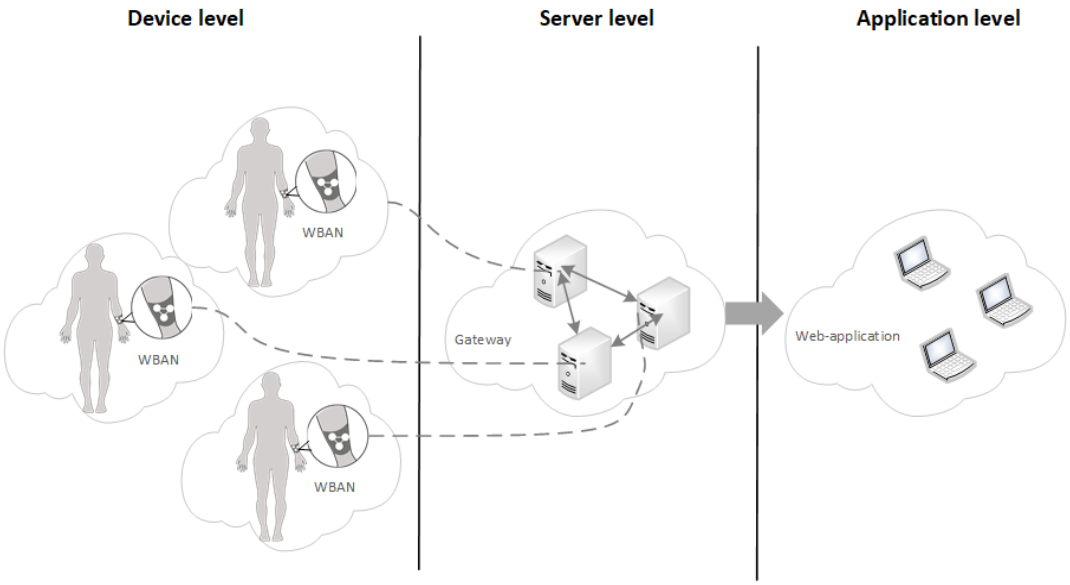



Fig. 1. Health monitoring system architecture

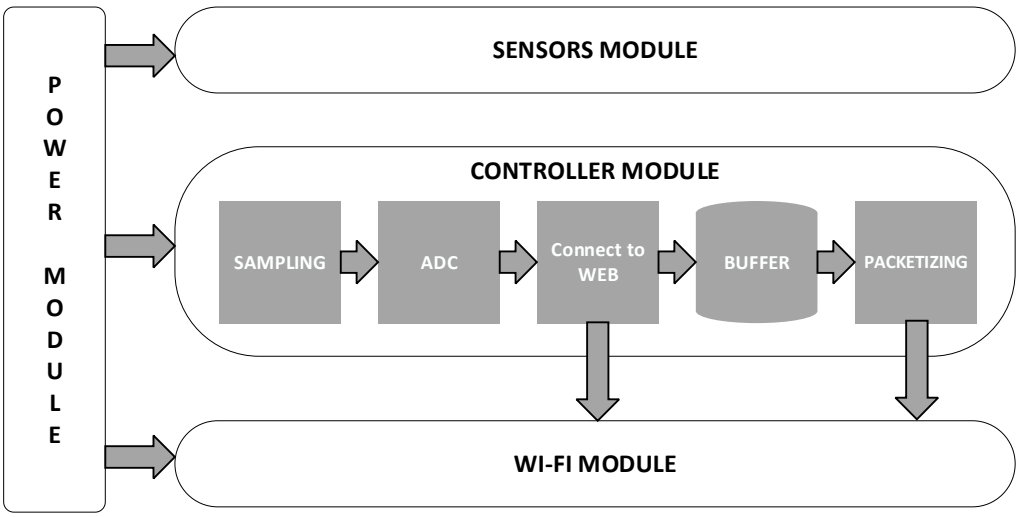



Fig. 2. Wearable device configuration

a) Accelerometer. It determines the days distance, measure user's motions and identify the user's activity during the day.

b) Pulsometer. It is used to determine the user's heart rate.

c) Body temperature sensor. Since the temperature sensor is located on the arm, and the arm temperature is different by body temperature, it is necessary to collect enough data for the normal body temperature index knowledge. For each user it is individual.

d) Environment temperature sensor. Information about the environment temperature helps us to obtain additional information about the user's health status. For example, if the environment temperature is low and user's body temperature begins to fall, it can be concluded that we deal with hypothermia.

2) *Controller module with wireless adapter* is using for preprocessing and transmission of user's health state signal data. The controller module is possible to determine the necessary parameters for additional signal processing, buffering, signal data packet for further transmission through a wireless network. It provides fast and convenient access to the Internet for transmitting real-time user's physiological data to a remount server.

3) *Power module* - provides a reliable power supply of each module of wearable health state monitoring device. As a stand-alone power source, a power bank of 20,000 mAh is used. The source of autonomous power supply is selected with a large energy capacity supply, sufficient for long-term continuous monitoring.

**3.3 Server level**

The second component of the system is presented by the remount server. Since the developed health state monitoring device has a limited energy resource, the data processing and analysis cannot be implemented by the device. It requires many computational resources and, as a result, many power energy, thereby reducing the device work time. The collected data is sent to the remount server for processing and long-term storage. The necessary data processing and analysis are carried out by data warehouse instruments. This is solving the problem of limited energy resources. The advantage is a significant permissible data volume and a short time of data processing.

**3.4 Application/Service level**

The third component will be present a web-application. The web application is currently developing.

**4 Data acquisition techniques**

For the experiment, the accelerometer and body temperature sensor are placed on the forearm. The forearm is located on the finger. The environment temperature sensor is on the prototype board at a sufficient distance from the body temperature sensor.

During the experiment the data acquisition, collection, and processing were carried out in the next states:

1. User's physical resting state.
2. User's physical activity state.

The duration of the signal acquisition was 5 minutes with a step time equal to 1 second.

As a result of the experiment, the transmission of data from the signals of the physiological state of the user was carried out through a packet, and the data were stored in the data warehouse.

**5 Data fusion**

In this work we apply the Bayesian approach for data fusion. The using of Bayesian approach, if we obtained evidence from various sources, the initial hypothesis about the health state is either increased or weakened. The Bayesian approach is an estimate of many hypotheses about various user's states allows us to determine the most probability user's health state. Summarizing the Bayesian approach to determine the state of user's rest or activity state, the data fusion of the sensor signals can be determined as follows. We denote a certain user state as $F_i$, the user state parameter as $K$, and $y_k$ as the current value of $K$. The probability of the certain state $y_K$ at currently step time determining as follows.

$$P(F_j \mid y_k) = \frac{P(y_k \mid F_j)}{P(y_k)} P(F_j) \qquad (1)$$

.

Suppose that the several parameters fusion of the user's state $K$ determined as a set $Y=\{y_1, y_2, \ldots, y_K\}$ indicates a certain user's state $F_i$, its probability can be determined as follows.

$$P(F_i \mid Y) = \frac{P(Y \mid F_i)}{\sum_{j=1}^{N} P(Y \mid F_j) P(F_j)} P(F_i) \qquad (2)$$

.

where $F_1, F_2, \ldots, F_N$ is the possible user states. Thus, we obtain the probability of the certain state by data values fusion (3).

$$P(Y \mid F_i) = \prod_{k=1}^{K} P(y_k \mid F_i) \qquad (3)$$

.

The Bayesian approach for various sensors data fusion allows more accurately determination the user status in terms of rest or activity states.

**Conclusion**

This paper outlined the wearable health monitoring system and presents the development and implementation of a wearable device and technology for physical activity data acquisition and collection. The system architecture has been described including following levels: device, server, and web-application. Bayesian approach for sensors data fusion is utilized. Its main advantage is that we can perform data fusion on wearable sensor data easily. The future work will be targeted on the web applications development and research of sensor data mining techniques.

**References**


1. Mosenia, A., Sur-Kolay, S., Raghunathan, A. and Jha, N.K., 2017. Wearable medical sensor-based system design: A survey. IEEE Transactions on Multi-Scale Computing Systems, 3(2), pp.124-138.
2. Kim, Y.K., Wang, H. and Mahmud, M.S., 2016. Wearable body sensor network for health care applications. In Smart Textiles and Their Applications (pp. 161-184).
3. Shi, P., Xu, Y. and Yu, H., 2017, August. Design of Wearable System for Detection and Analysis of Physiological Information. In Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2017 9th International Conference on (Vol. 1, pp. 195-198). IEEE.
4. Lee, D.H., Rabbi, A., Choi, J. and Fazel-Rezai, R., 2012. Development of a mobile phone based e-health monitoring application. Development, 3(3).
5. Alam, F., Mehmood, R., Katib, I., Albogami, N.N. and Albeshri, A., 2017. Data fusion and IoT for smart ubiquitous environments: A survey. IEEE Access, 5, pp.9533-9554.
6. M. Guerriero, "Bayesian data fusion for distributed target detection in sensor networks," Signal Process. IEEE …, vol. 58, no. 6, pp. 3417–3421, 2010.
7. T. A. Biresaw, A. Cavallaro, and C. S. Regazzoni, "Trackerlevel fusion for robust bayesian visual tracking," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 25, no. 5, pp. 776–789, 2015.
8. Gravina, R., Alinia, P., Ghasemzadeh, H. and Fortino, G., 2017. Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges. Information Fusion, 35, pp.68-80.

9. Bruser, C., Kortelainen, J. M., Winter, S., Tenhunen, M., Parkka, J., & Leonhardt, S. (2015). Improvement of Force-Sensor-Based Heart Rate Estimation Using Multichannel Data Fusion. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 19(1), 227–235. doi:10.1109/jbhi.2014.2311582.
10. Luo, R.C., Yih, C.C. and Su, K.L., 2002. Multisensor fusion and integration: approaches, applications, and future research directions. IEEE Sensors journal, 2(2), pp.107-119.
11. Kim, Y.K., Wang, H. and Mahmud, M.S., 2016. Wearable body sensor network for health care applications. In Smart Textiles and Their Applications (pp. 161-184).

**Білобородова Т.О., Ардель О.В., Дерев'янченко В.С., Бабаєв Ш.О. Поєднання датчиків в IoT системі моніторингу фізіологічного стану**

*Носимі системи в контексті технології IoT використовуються для моніторингу фізичних станів людини. Такий моніторинг передбачає відстеження декількох параметрів фізичного стану за допомогою одного пристрою, що представляє собою так звану мережу біомедичних датчиків (wearable body area network - WBAN). Використання WBAN передбачає безліч синхронних вимірювань стану організму, одержуваних від декількох датчиків. Об'єднання даних з декількох потенційно гетерогенних джерел є актуальним завданням, яка безпосередньо впливає на продуктивність системи моніторингу. Існуючі технології по об'єднанню даних сигналів фізичного стану не пропонують ефективного вирішення.*

*У статті представлено проектування, дизайн і реалізація носимої системи моніторингу фізіологічного стану з використанням технології IoT. Етапи дослідження, представлені в статті, включають: (1) розробку і реалізацію носимого пристрою, що представляє собою мережу біомедичних датчиків для моніторингу фізичного стану людини; (2) технологію збору і отримання даних біомедичних показників фізичної активності людини; (3) Байєсовський підхід для злиття даних.*

**Ключові слова:** *носима система моніторингу фізіологічного стану, архітектура системи IoT, злиття датчиків, Байєсовський підхід*

**Белобородова Т.А. Ардель А.В., Деревянченко В.С., Бабаев Ш.О. Объединение датчиков в носимой IoT системе мониторинга физиологического состояния**

*Носимые системы в контексте технологии IoT используются для мониторинга физических состояний человека. Такой мониторинг подразумевает отслеживание нескольких параметров физического состояния с помощью одного устройства, которое представляет сеть биомедицинских датчиков (wearable body area network - WBAN). Использование WBAN предполагает множество синхронных измерений состояния организма, получаемых от нескольких датчиков. Объединение данных из нескольких потенциально гетерогенных источников является актуальной задачей, которая напрямую влияет на производительность системы мониторинга. Существующие технологии по объединению данных сигналов физического состояния не предоставляют эффективного решения.*

*В статье представлено проектирование, дизайн и реализация системы носимой системы мониторинга физиологического состояния с использованием технологии IoT. Этапы исследование, представленные в статье, включают: (1) разработку и реализацию носимого устройства, представляющего собой сеть биомедицинских датчиков для мониторинга физического состояния человека; (2) технологию сбора и получение данных биомедицинских показателей физической активности человека; (3) Байесовский подход для слияния данных.*

**Ключевые слова:** *носимая система мониторинга физиологического состояния, архитектура системы IoT, слияние датчиков, Байесовский подход*

**Білобородова Т.О.** – к.т.н., ст.викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: beloborodova.t@gmail.com
**Ардель О.В.** – аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: aleksandrardel@gmail.com
**Дерев'янченко В.С.** – асп. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: derevianchenkovs@ukr.net
**Бабаєв Ш.О.** – викл. англійської мови кафедри економіки енергетичної галузі Державного енергетичного інституту Туркменістана, e-mail: - shahymerdanbabaev@mail.ru

*Рецензент:* д.е.н., проф. ***Д'яченко Ю.Ю.***

Стаття подана 16.11.2018

УДК 629.45-592::621.313.12 .001.5:001.891.5

# ТЕСТУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ І ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОДНОПЛАТНИХ КОМП'ЮТЕРАХ

**Болтов Є.В., Сіряк Р.В., Щербаков Є.В., Лифар О.К.**

# TESTING REAL-TIME OPERATING SYSTEMS PERFORMANCE FOR COMPUTER VISION AND IMAGE PROCESSING ON SINGLE-BOARD COMPUTERS

**Boltov E.V., Siryak R.V., Shcherbakov E.V., Lyfar O.K.**

*У статті розглянуто питання доцільності використання операційних систем реального часу на одноплатних комп'ютерах, зокрема задля підвищення ефективності систем комп'ютерного зору. Виконано компаративний аналіз систем реального часу (патчів ядра Linux) на основі циклічного тесту та швидкодії розпізнавання зображення підготовленою нейромережею.*

***Ключові слова:*** *RT, PREEMPT_RT, Xenomai, Linux, Raspberry PI, OpenCV.*

**Вступ.** Одноплатні комп'ютери набирають дедалі більшу популярність за рахунок своїх розмірів, в результаті чого, вони отримали широке застосування в робототехніці. Але за маленький форм фактор доводиться платити слабкими технічними характеристиками. Однією з важливих задач, яку вирішує робототехніка є задача розпізнавання. Ця задача потребує достатньо великих чисельних потужностей, тому для її вирішення в одноплатному комп'ютері слід використовувати весь можливий потенціал. На сьогоднішній день існують різноманітні засоби покращення продуктивності комп'ютера для тієї чи іншої задачі. Одним із можливих рішень є використання систем реального часу, в яких дотримання певних часових меж дуже важливе, але, наряду з тим, може знизитись загальна продуктивність системи. Таким чином, перед розробником постає питання у доцільності використання RT (Real-Time) систем для вирішення своїх задач, а у даному випадку - задачі по розпізнаванню зображень.

**Мета статті.** Дослідити доцільність використання операційних систем реального часу на одноплатному комп'ютері для вирішення задачі розпізнавання зображень.

У якості об'єктів дослідження обрано найбільш популярні RT системи для ОС Linux, а саме патч ядра PREEMPT_RT та фреймворк Xenomai (також с патчем ядра)[2]. Також, для порівняння, присутні результати швидкодії стандартного ядра.

Досягнення поставленої в роботі мети потребує вирішення наступних задач:

1) тестування та оцінка затримки RT систем задля покращення ефективності розпізнавання при циклічній (постійній) роботі;

2) оцінка якості та швидкості класифікації.

**Вихідні дані**. Для оцінки якості та швидкості розпізнавання були підготовлені два випадкові зображення (кольорові) з відкритою ліцензію на використання (рис. 1). Зображення мають формат «jpg» і роздільну здатність «5000x2909» та «4256x2832» відповідно.

Рис. 1. Досліджувані зразки

**План проведення експерименту** містить наступні кроки:

1) Підготовка образу Linux зі стандартним ядром;

2) Підготовка образів з патчем PREEMPT_RT та Xenomai;

3) Компіляція та налаштування бібліотеки OpenCV та підготовленої нейромережі глибинного навчання GoogLeNet;

4) Тестування циклічних затримок за допомогою утиліти cyclictest;

5) Тестування швидкості класифікації дослідних зразків (зображень) за допомогою OpenCV та GoogLeNet.

Усі дослідження проводилися на одноплатному комп'ютері *Raspberry PI 2 model B*, з технічними характеристиками, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики Raspberry PI 2 model B**

| | |
|---|---|
| Тип процесора | Bcm2836 4-х ядерний Cortex-A7 |
| Частота процесора | 900 мгц |
| Оперативна пам'ять | 1 Гб |
| Графічний процесор | 2-х ядерний Videocore IV |

На момент написання статті остання офіційна версія ядра Linux для Raspberry була 4.14, тому всі наступні дослідження проводяться саме на цій версії ядра[1].

**Результати тестування затримок RT систем.**

Для тестування була використана утиліта Cyclictest із набору RT-Tests [3]. Це один з найбільш часто використовуваних інструментів для оцінки відносної продуктивності RT систем. Cyclictest точно і неодноразово вимірює різницю між призначеним часом пробудження потоку і часом, в який він дійсно прокидається, щоб надавати статистику про затримки системи. Він може вимірювати затримки в системах реального часу, викликаних апаратним забезпеченням, прошивкою і операційною системою. Щоб виміряти затримки, Cyclictest запускає основний потік не в реальному часі (клас планування SCHED_OTHER), після чого основний потік запускає певну кількість вимірювальних потоків з певним пріоритетом в реальному часі (клас планування SCHED_FIFO). Вимірювані потоки періодично пробуджуються з певним інтервалом за допомогою таймера із закінченням терміну дії (циклічний сигнал). Згодом, різниця між запрограмованим і ефективним часом пробудження обчислюється і передається головному потоку через пам'ять, що розділяється. Головний потік відстежує значення затримки і друкує мінімальні, максимальні і середні затримки.

Команда для тестування має наступний вид:

*cyclictest -l1000000 -m --policy=fifo -Sp99 -i250 -h500,* де

-l – Кількість циклів
-m – Блокування сторінок пам'яті процесу
--policy – Політика реального часу
-p – Пріоритет реального часу
-i – Інтервал в мікросекундах
-h – Максимальний час для відстеження в мікросекундах (використовується для отримання даних гістограми)

Результати затримки стандартного ядра (4.14.74-v7+) наведені на рис. 2.

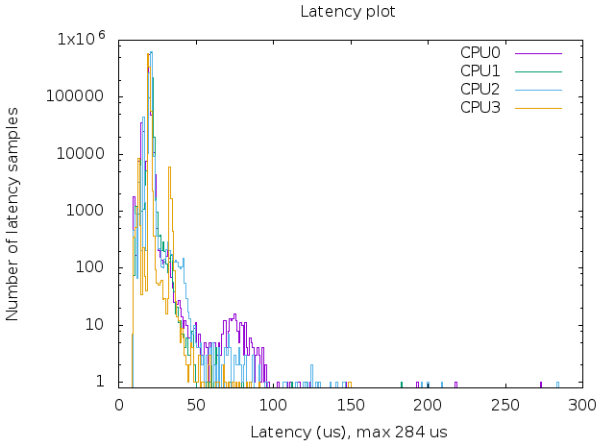



Рис. 2. Гістограма затримки стандартного ядра Linux

Результати затримки ядра с патчем PREEMPT_RT (4.14.74-rt44-v7+) наведені на рис. 3.

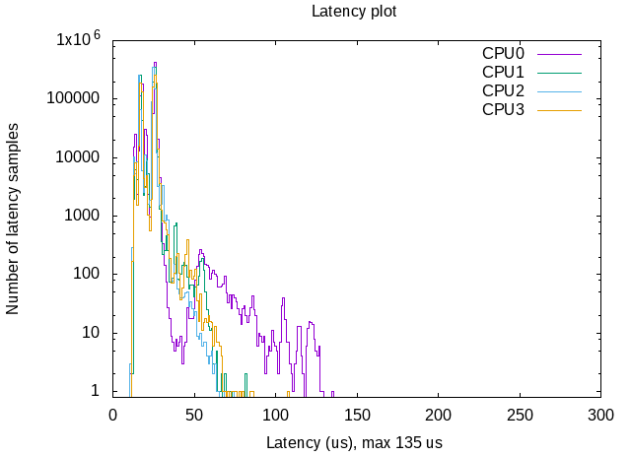



Рис. 3. Гістограма затримки ядра с патчем PREEMPT_RT

Результати затримки ядра с патчем Xenomai (4.14.37-v7+) наведені на рис. 4.

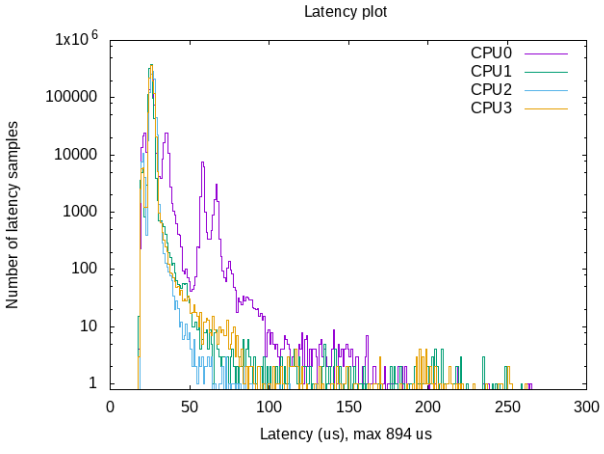



Рис. 4. Гістограма затримки ядра с патчем Xenomai

**Результати тестування швидкості розпізнавання зображень.**

Для дослідження швидкості розпізнавання (класифікації) використана бібліотека OpenCV, яка дозволяє використовувати попередньо підготовлені нейромережі з популярними системами глибокого навчання [4].

Результати швидкості розпізнавання, а також якість класифікації (носить демонстративний характер) на різних системах наведені у табл. 2, 3.

Таблиця 2

**Результати першого зразка**

| Стандартне ядро | PREEMPT_RT | Xenomai |
|---|---|---|
| 1.2992 сек | 1.1953 сек | 1.2734 сек |
| 1. label | castle, probability: 0.89271 | |
| 2. label | cliff, probability: 0.049932 | |
| 3. label | breakwater, probability: 0.0084649 | |
| 4. label | promontory, probability: 0.0063658 | |
| 5. label | lakeside, probability: 0.0043311 | |

Таблиця 3

**Результати другого зразка**

| Стандартне ядро | PREEMPT_RT | Xenomai |
|---|---|---|
| 1.2949 сек | 1.1868 сек | 1.3001 сек |
| 1. label | white wolf, probability: 0.6342 | |
| 2. label | Arctic fox, probability: 0.32954 | |
| 3. label | timber wolf, probability: 0.026111 | |
| 4. label | kuvasz, probability: 0.0076301 | |
| 5. label | ice bear, probability: 0.0015258 | |

Як видно з таблиць, RT системи мають незначний вплив на швидкість класифікації, а якість класифікації при цьому остається майже незмінною.

**Висновок.** В результаті дослідження можна побачити, що RT системи майже не вплинули на швидкість розпізнавання зображень. Незначні коливання продуктивності зумовлені особливістю патчів ядра та витісненням другорядних процесів, але, зазвичай, у робототехніці система не обмежується лише статичним розпізнаванням, а використовується для циклічної роботи. Судячи з гістограм, системи реального часу мають низькі затримки циклічного виконання, що говорить про достатній рівень планування ресурсів, тому ці системи можна використовувати в завантажених циклічних процесах, в тому числі, і в циклічному розпізнаванні зображень. Затримка ядра з використанням фреймворку Xenomai вийшла не така добра, як очікувалось, можливо це пов'язано з конфігурацію ядра, або дефектом у процесі тестування. Таким чином, для підвищення циклічної точності виконання задачі розпізнавання на одноплатних комп'ютерах можна порекомендувати використання патча PREEMPT_RT, який має найнижчий показник циклічної затримки та дає незначну перевагу у швидкодії розпізнавання.

Щодо результатів якості класифікації, можна вважати, що бібліотека OpenCV та підготовлена нейромережа впорались відмінно. На першому зразку нейромережа дійсно знайшла замок (ймовірність 89%) та скелю (4%), а на другому білих вовків (63%).

**Л і т е р а т у р а**


1. Raspberry PI official site. – Електронний ресурс. Режим доступу www URL: https://raspberrypi.org/downloads/raspbian/ (23.10.2018 р.)
2. Abbott D. Linux for Embedded and Real-time Applications 4th Edition / D. Abbott, 2017 – 304 p.
3. Linux Foundation Wiki. – Електронний ресурс. Режим доступу www URL: https://wiki.linuxfoundation.org/realtime/start (20.10.2018 р.)
4. Pajankar A. Raspberry Pi Computer Vision Programming / A. Pajankar, 2015 – 168 p.
5. Love R. Linux kernel. Description of the development process / R. Love, 2013 – 496 p.
6. Xenomai Wiki. – Електронний ресурс. Режим доступу www URL: https://gitlab.denx.de/Xenomai/xenomai /wikis/home (20.10.2018 р.)


**R e f e r e n c e s**


1. Raspberry PI official site. Available at: https://raspberrypi.org/downloads/raspbian/
2. Doug Abbott. Linux for Embedded and Real-time Applications 4th Edition, 2017 – 304 p.
3. Linux Foundation Wiki. Available at: https://wiki.linuxfoundation.org/realtime/start (20.10.2018 р.)
4. Ashwin Pajankar. Raspberry Pi Computer Vision Programming, 2015 – 168 p.
5. Robert Love. Linux kernel. Description of the development process, 2013 – 496 p.
6. Xenomai Wiki. Available at: https://gitlab.denx.de/Xenomai/xenomai/wikis/home (20.10.2018 р.)



**Болтов Е.В., Сиряк Р.В., Щербаков Е.В., Лыфарь Е.К. Тестирование производительности операционных систем реального времени для компьютерного зрения и обработки изображений на одноплатном компьютере**

*В статье рассмотрен вопрос о целесообразности использования операционных систем реального времени на одноплатных компьютерах, в том числе для повышения эффективности компьютерного зрения. Выполнен сравнительный анализ систем реального времени (патчей ядра Linux) на основе циклического теста и быстродействия распознавания изображения подготовленной нейросетью.*



**Ключевые слова:** *RT, PREEMPT_RT, Xenomai, Linux, Raspberry PI, OpenCV.*

**Boltov E.V., Siryak R.V., Shcherbakov E.V., Lyfar O.K. Testing real-time operating systems performance for computer vision and image processing on single-board computers**

*The article discusses the feasibility of using real-time operating systems on single-board computers, in particular for the purpose of increasing the efficiency of computer vision. A comparative analysis of real-time systems (Linux kernel patches) is performed on the basis of a cyclic test and the speed of image recognition by the generated neural network.*

**Keywords:** *RT, PREEMPT_RT, Xenomai, Linux, Raspberry PI, OpenCV.*

**Болтов Єгор Владиславович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: pritexnet@gmail.com

**Сіряк Ростислав Вікторович,** здобувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: hashem.r@gmail.com

**Щербаков Євген Васильович,** доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: gkvarc@gmail.com

**Лифар Олена Констянтинівна,** ст. викл. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: lekiv@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Татарченко Г.О.***

Стаття подана 11.11.2018

УДК 004:373.51

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ОСВІТИ

**Височина Н.О., Шумова Л.О., Міняйло В.А., Середіна О.Г.**

# COMPUTER TOOLS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM MONITORING QUALITY OF EDUCATION

**Vysochina N., Shumova L., Miniailo V., Seredina O.**

*У статті розглядаються актуальні завдання моніторингу та проектні рішення при розробці комп'ютерних систем для забезпечення ефективного моніторингу якості освіти.*
***Ключові слова:*** *комп'ютерна система, база даних, реплікація, освіта, моніторинг.*

**Вступ.** На сьогодні для міжнародної спільноти якісна освіта являється однією з основних умов розвитку країни. ЮНЕСКО підкреслює, що питання якісної освіти розглядаються як можливість для молоді набути важливі життєві навички, що у майбутньому дасть змогу успішно приєднатися до сучасного суспільства і досягти загальної злагодженості. Для Європейського Союзу якісна освіта є важливим чинником економічного розвитку, що слугуватиме на шляху до створення нового, кращого суспільства.

Для ефективного управління освітою на кожній ланці освітнього простору важливим є виконання певних умов, серед яких дві є головними:

принцип правди – рішення в освіті мають прийматися на повних, правдивих, надійних, актуальних даних про стан і динаміку розвитку освіти в доступній та зручній для управлінця формі;

принцип відкритості – знеособлені дані про стан освіти мають бути доступними усім зацікавленим особам системи освіти (учителям, адміністрації навчальних закладів, керівникам методичних служб та органів управління освітою) в доступній та зручній для нього формі.

Дотримання вищеназваних принципів впливає на покращення якості освіти та прийняття ефективних управлінських рішень щодо функціонування системи освіти будь-якої країни [1].

В Україні проблема якості освіти стоїть на першому місці серед найважливіших питань, адже від цього залежить національна безпека держави і, зокрема, гарантує забезпечення загальноприйнятих норм і вимог відносно здійснення прав громадян на освіту [2,3].

Найголовнішим завданням реформування системи освіти в Україні на основі принципів правди, прозорості й підзвітності є створення державної системи моніторингу освіти.

Моніторинг в освіті повинен створювати інформаційну систему, що завжди буде доповнюватися, а також включати розробку технології вимірювання чинного стану об'єкту [4,5].

Формування ефективної системи моніторингу якості освіти неможливе без функціонування високопродуктивних інформаційних систем, за допомогою яких генерується, обробляється й аналізується інформація, отримана в результаті здійснення моніторингових досліджень, та інші дані, що можуть бути використанні для подальшої аналітичної діяльності [6,7]. Все це свідчить про актуальність проведення моніторингових досліджень якості освіти та інструментальних засобів, що забезпечують його ефективність. Попри те, що існує достатня кількість програмних засобів, які можуть використовуватися для зберігання, передачі, обробки даних моніторингу, актуальною залишається задача розробки комплексу взаємопов'язаних інструментальних засобів, об'єднаних в єдину інформаційну систему моніторингу якості освіти в закладах загальної середньої освіти (ЗЗСО) [8,9].

**Постановка проблеми.** Практика застосування різних технологій та систем автоматизації контролю навчальних досягнень учнів, відкриває можливості для створення єдиної автоматизованої регіональної інформаційної системи моніторингу якості освіти (АРІС МЯО) - системи збору, обробки та інтерпретації інформації про результати освітньої діяльності [10-13]. Очевидною є необхідність застосування клієнт-серверної технології, та використання web-інтерфейсів для забезпечення

роботи системи. Основними напрямками розробки є:

– створення єдиної регіональної бази даних результатів освітньої діяльності, що містить інформацію про всі оцінювальні заходи, які проводилися в освітніх установах;

– створення підсистеми оперативної обробки даних моніторингу для формування звітів, що показують зведені дані про результати освітньої діяльності ЗЗСО, регіонального центру моніторингу (РЦМ);

– створення набору інтерфейсів, що реалізують функції автоматизованих робочих місць (АРМ) різних користувачів.

Результатом розробки має стати система, яка в перспективі забезпечить повний інструментарій для проведення моніторингу якості освіти ЗЗСО регіону.

**Мета статті.** Представлення архітектурного рішення єдиної автоматизованої регіональної інформаційної системи моніторингу якості освіти в ЗЗСО, що забезпечує ефективне вирішення завдань моніторингу.

**Результати досліджень.** У результаті аналізу вимог до розроблюваній системі, виділені основні її характеристики, які визначають набір використовуваних технологій та дозволяють сформувати уявлення про архітектуру:

– система повинна мати централізоване сховище даних, яке містить загальні довідники, інформацію про всі проведені моніторингові дослідження, що проводяться в освітніх установах регіону і т.і.;

– кожний ЗЗСО повинен мати власну базу даних, що містить специфічну інформацію про його навчальну діяльність;

– повинна бути реалізована гнучка система реплікації між центральним сховищем і локальними базами даних ЗЗСО, при цьому дані повинні передаватися не тільки в режимі online (через web), але і в режимі offline (всі оновлення переносяться за допомогою зашифрованих xml-файлів, які у свою чергу можна завантажити в систему з будь-якого носія інформації в будь-який час, що передбачає тимчасову відсутність доступу до мережі Інтернет);

– системні вимоги, що пред'являються клієнтською частиною, повинні бути мінімізовані, що має забезпечити прийнятну швидкість роботи навіть на досить слабких комп'ютерах;

– у рамках одного освітнього закладу можуть функціонувати кілька клієнтських програм, розташованих на різних робочих станціях локальної мережі, при цьому результати роботи кожного клієнта повинні зберігатися в загальну базу, розташовану в тій же локальній мережі, яка також є сховищем власних даних ЗЗСО;

– клієнтська частина програми повинна бути максимально проста в установці та розгортанні, а її графічний інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим навіть для користувача, що володіє тільки початковими навичками роботи в середовищі Windows.

Комп'ютерну інформаційну систему пропонується реалізувати на трьох відокремлених логічних рівнях. Рівень клієнтів - забезпечує функціональність різних АРМ ЗЗСО; експерта; регіонального центру моніторингу для відповідних категорій користувачів. Рівень управління - призначений для синхронізації та диспетчеризації потоків даних між віддаленими АРМ рівня клієнтів і сервісними підсистемами рівня сервісів. Рівень сервісів призначений для взаємодії з різного роду зовнішніми автоматизованими інформаційними системами (АІС), що забезпечують процес контролю знань, наповнення інформаційних сховищ, ведення єдиної нормативно-довідкової інформації. Загальна схема пропонованого рішення наведена на рис.

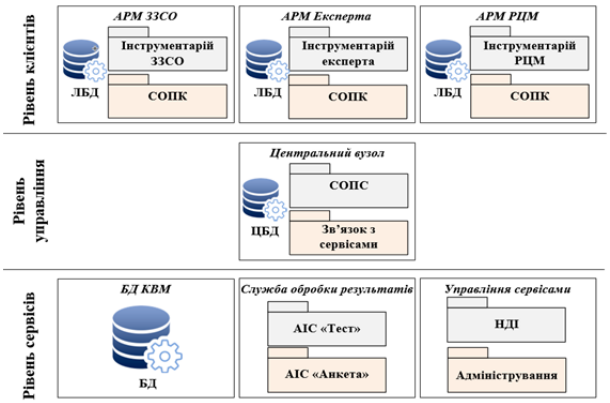



Рис. Загальна схема комп'ютерної інформаційної системи

Підсистемами загального призначення є:

– підсистема обміну повідомленнями, яка логічно реалізується у вигляді двох частин (системи обміну повідомленнями клієнт (СОПК) і системи обміну повідомленнями сервер (СОПС));

– підсистема зв'язку з сервісами.

СОПК забезпечує можливість АРМ рівня клієнтів експортувати та імпортувати необхідні дані. СОПС призначена для управління потоком вхідних і вихідних повідомлень.

Підсистема зв'язку з сервісами забезпечує взаємодію АРМ клієнтського рівня з загальними сервісами, наданими системою (повідомлення з СОПС перетворюється у відповідний формат, для передачі сервісної АІС, а результати роботи АІС перетворюються і передаються СОПС).

Підсистема ЦБД (регіональна база даних результатів освітньої діяльності) забезпечує централізоване сховище даних про учнів, педагогів, навчальних досягнень.

Підсистеми рівня сервісів характеризуються так:

– служба обробки результатів. Виконує експорт, імпорт, що спрямовані на різні системи автоматизації оцінки навчальних досягнень. По суті, є надбудовою над цими АІС, та надає зручний єдиний інтерфейс для рівня управління. Наявність

такого інтерфейсу дає потенційну можливість розширювати список використовуваних систем оцінки освітніх досягнень;

– підсистема нормативно-довідкової інформації (НДІ). Забезпечує ведення єдиного кодифікатора розділів предметів, критеріїв атестації та іншої умовно стійкої інформації;

– підсистема адміністрування. Реалізує стандартну функціональність з адміністрування елементів АРІС МЯО;

– БД КВМ. Регіональна база даних контрольно-вимірювальних матеріалів. Сховище контрольно-вимірювальних матеріалів, розроблених експертами, завдань минулих ЗНО та ДПА і т.і. Забезпечує єдине джерело для оцінки якості підготовки учнів у регіоні. Підсистема зв'язку з сервісами реалізує функції імпорту завдань з БД КВМ, що створені за попереднім запитом ЗЗСО.

Повнофункціональний варіант системи було вирішено реалізувати в рамках трьох циклів розробки. На першому життєвому циклі долаються архітектурні ризики і вибудовується стійка базова платформа для наповнення системи розширеною функціональністю. На другому відбувається наповнення системи функціональними можливостями. Третій життєвий цикл - реалізує різного роду сервісні можливості та АРМ клієнтів.

**Висновок.** Проведено аналіз сучасних технологій моніторингу якості освіти в закладах загальної середньої освіти.

Виділені ІТ засоби для забезпечення ефективності моніторингу якості освіти в закладах загальної середньої освіти.

Спроектована архітектура автоматизованої регіональної інформаційної системи моніторингу якості освіти, що забезпечує збір, обробку та інтерпретацію інформації про результати освітньої діяльності.

**Література**


1. Аналітичний звіт за моніторинговими дослідженнями якості освіти в закладах загальної середньої освіти Луганської області / уклад. Ю. В. Стецюк, І. І. Цимбал, В. А. Міняйло, Л. М. Савенко / за заг. ред. І. І. Цимбал. Харків : «Друкарня Мадрид», 2017. 124 с. URL: https://drive.google.com/file/d/0Bz-YeT0sOsnTNzdtc0ZZd1pqR3A0VDdZbm9DaHB2RDl6eGpr/view
2. Закон України «Про освіту». URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#n1235
3. Закон України «Про загальну середню освіту». URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/651-14
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 року № 1095 «Деякі питання запровадження зовнішнього незалежного оцінювання та моніторингу якості освіти». URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1095-2004-%D0%BF
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.12.2017 № 903 «Про затвердження плану заходів на 2017-2029 роки із запровадження Концепції реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа». URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/903-2017-%D1%80
6. Національна доповідь про стан і перспективи розвитку освіти в Україні / НАПН України. — К. : Педагогічна думка, 2016. — 448 с.
7. Биков В.Ю., Спірін О.М., Пінчук О.П. Проблеми та завдання сучасного етапу інформатизації освіти / [Електронний ресурс]. —URL: http://lib.iitta.gov.ua/709026
8. А. В. Хуторской “Ключевые компетенции и образовательные стандарты” [Електронний ресурс].
9. Барна М., Гірний О. Педагогічний моніторинг якості навчальних досягнень учнів// Управління освітою.
10. Т.Я. Вдовичин, та А. В. Яцишин, “Застосування технологій відкритої освіти для інформатизації навчального процесу”, Інформаційні технології в освіті: Збірник наукових праць. Випуск 16, с.134-140, 2013.
11. Дивак В. В. Інформаційно-комунікаційні технології в професійній діяльності директора школи [Електронний ресурс] / В. В. Дивак. – URL: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/ITZN/em2/content/07dvvpto.html.
12. Недашківський О.М. Планування та проектування інформаційних систем. – Київ, 2014. – 215 с
13. Биков В. Особливості переходу до активного використання комп'ютерних технологій : [збори НАПН, 10 листоп. 2011 р., м. Київ] / В. Биков; [уклад. : О. Виговська, О. Виговський] // Директор школи, ліцею, гімназії.- 2012.-№ 1.-С. 30–33.


**References**


1. Analytical report on monitoring studies on the quality of education in Luhansk general secondary education institutions / layout. Yu. V. Stetsyuk, I. I. Tsymbal, V. A. Minyailo, L. M. Savenko / per co. Ed. I. I. Tsymbal. Kharkiv: "Typography Madrid", 2017. 124 p. URL: https://drive.google.com/file/d/0Bz-YeT0sOsnTNzdtc0ZZd1pqR3A0VDdZbm9DaHB2RDl6eGpr/view
2. Law of Ukraine "On Education". URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#n1235
3. Law of Ukraine "On General Secondary Education". URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/651-14
4. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 25, 2004 No. 1095 "Some Issues of Implementation of External Independent Evaluation and Monitoring of Educational Quality". URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1095-2004-%D0%BF
5. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 13, 2012 No. 903 "On Approval of the Action Plan for 2017-2029 with the Implementation of the Concept for the Implementation of State Policy in the Reform of General Secondary Education" New Ukrainian School ". URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/903-2017-%D1%80
6. National Report on the Status and Prospects for the Development of Education in Ukraine / NAPS of Ukraine. - K.: Pedagogical thought, 2016. - 448 pp.
7. Bykov V.Yu., Spirin OM, Pinchuk O.P. Problems and tasks of the modern stage of education informatization / [Electronic resource]. - URL: http://lib.iitta.gov.ua/709026
8. A. Khutorskoy "Key competencies and educational standards" [Electronic resource].

9. Barna M., Girnyi O. Pedagogical monitoring of the quality of educational achievements of students // Management of education.
10. T. Vdovichin, and A. Yatsyshyn, "Application of Open Education Technologies for Informatization of the Educational Process", Information Technologies in Education: Collection of Scientific Papers. Issue 16, p.134-140, 2013.
11. Divak V. Information and communication technologies in the professional activity of the school principal [Electronic resource] / VV Divak. - URL: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/ITZN/em2/content/07dvvpto.html.
12. Nedashkivsky O. Planning and Designing Information Systems. - Kyiv, 2014. - 215 p.
13. Bykov V. Features of the transition to the active use of computer technology: [assembly NAPN, November 10. 2011, Kyiv] / V. Bykov; [structure. : O. Vygovskaya, O. Vygovsky] // Director of school, lyceum, gymnasium. 2012.-№ 1.- С. 30-33.

**Высочина Н.А., Шумова Л.А., Миняйло В.А. Середина Е. Компьютерные средства разработки информационной системы мониторинга качества образования.**

*В статье рассматриваются актуальные задачи мониторинга и проектные решения при разработке компьютерных систем для обеспечения эффективного мониторинга качества образования.*

***Ключевые слова:*** *компьютерная система, база данных, репликация, образование, мониторинг.*

**Vysochina N., Shumova L., Miniailo V., Seredina O. Computer tools for the development of information system monitoring quality of education.**

*The article discusses the actual tasks of monitoring and design solutions in the development of computer systems to ensure effective monitoring of the quality of education.*

***Key words:*** *computer system, database, replication, education, monitoring.*

**Височина Н.О. –** студентка магістратури спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, e-mail: Visochina.Nadia.A@gmail.com
**Шумова Л.О.** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: shumova@ukr.net
**Міняйло В. А. –** методист кафедри управління освітою Луганського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти, e-mail: loippo.zno@gmail.com
**Середіна О.Г.** – начальник відділу міжнародних проектів і програм СНУ ім. В. Даля, email: seredina_e@ukr.net "

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 22.08.2018

УДК 004.9+378.145

# ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ГЕНЕРАЦІЇ ТА ДОСТУПУ ДО РОЗКЛАДУ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ У КОМП'ЮТЕРНИХ КЛАСАХ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

**Волков С.В., Коваленко Д.А.**

# INFORMATION SYSTEM OF GENERATION AND ACCESS TO THE TIMETABLE IN COMPUTER CLASSES OF THE HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION

**Volkov S., Kovalenko D.**

*Розглядається задача формування розкладу занять у вищих навчальних закладах.*
*У статті проводиться аналіз публікацій, що присвячені задачі формування розкладів занять.*
*Розглянуто методи автоматизованого складання розкладу занять ВНЗ, основні напрямки розробки, представлені наявні результати по створенню інформаційної системи для управління розкладом занять.*
***Ключові слова:*** *розклад занять, вищий навчальний заклад, автоматизація, інформаційна система, управління розкладом занять.*

**Вступ.** В умовах науково-технічного прогресу вимоги до рівня підготовки спеціалістів у вищих навчальних закладах постійно підвищуються. Крім цього, безперервно збільшується обсяг інформації, яку необхідно засвоїти студенту при незмінних термінах навчання. Тому на сьогодні особливо важливим є забезпечення стабільної роботи вищих навчальних закладів і розвитку нових освітніх програм. Однією з найголовніших задач в підвищенні якості підготовки фахівців є раціональна організація навчального процесу, що охоплює питання його ефективного планування та управління.

Одним з найбільш поширених завдань, що вирішуються в процесі планування та оптимізації навчального процесу у закладах вищої освіти є задача складання розкладу занять. Від якості складання розкладу залежить ефективність роботи викладачів, рівень засвоєння навчального матеріалу студентами, раціональне використання аудиторного фонду ВНЗ тощо.

Мета розв'язання задачі - це побудова допустимих розкладів при дотриманні всіх обмежень або знаходження оптимального допустимого розкладу по тим або іншим критеріям оптимальності.

Задача складання розкладу занять у вищому навчальному закладі відноситься до задач багатокритеріальної оптимізації, оскільки при її розв'язанні необхідно враховувати досить велику кількість критеріїв. Як правило, критеріям призначається ступінь важливості, що істотно впливає як на процес, так і на якість складеного розкладу. Дана задача є NP-складною, що означає відсутність відомих ефективних точних алгоритмів її розв'язання.

На даний час указаний аспект процесу планування навчального процесу практично не автоматизований, що призводить до значних втрат часу, численних помилок, низької адаптивності до поточних змін тощо.

Автоматизувати процес складання розкладу занять досить складно через неоднозначність параметрів оптимізації, їх досить багато і вони суб'єктивні, тому складно піддаються формалізації.

Задача автоматизації складання розкладу занять має важливе теоретико-методологічне та практичне значення. Її практична реалізація передбачає врахування різних предметів і форм навчання, рівня насиченості навчальних програм, а також впровадження інформаційних технологій в систему адміністрування навчального процесу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Розвиток досліджень, спрямованих на вирішення завдання складання розкладу, можна умовно розбити на два етапи. Перший етап починається в 80-ті роки XX ст. і закінчується в середині 90-х років XX століття.

У цей період масштабно застосовуються класичні методи вирішення завдань цілочисельного програмування: метод повного перебору, метод розфарбування графа, метод гілок і меж.

Проте застосування класичних методів в освітніх системах стає малоефективним з огляду на велику розмірність задачі і значні витрати часу. Це призвело до появи інтелектуальних методів, що поклали початок другого етапу. В їх основі лежить використання різних евристик і евристичних алгоритмів.

Останнім часом для вирішення задачі складання розкладу застосовується ще один підхід - нейронні мережі. Проте цей підхід має суттєвий недолік – складність вибору початкового стану нейронної мережі.

Також в останні роки значного поширення набули дослідження методів еволюційного пошуку (зокрема, генетичного алгоритму).

Зацікавленість проблемою розробки методів та алгоритмів складання розкладу занять у вищому навчальному закладі висвітлювали у своїх працях вітчизняні та закордонні науковці, до яких, зокрема, відносяться: С. В. Бевз, С. М. Бурбело, В.В. Яковлев, Н.Н. Глібовець, І.Ф.Астахова[1], М. Яздані, Б. Надері [2], Дж. Таномару[3] та інші.

І.Ф. Астахова у своїй роботі [1] розглядає аспекти використання генетичного алгоритму для складання розкладу занять. Також огляду генетичного алгоритму присвячуються роботи [4], [8].

У роботі М. Яздані [2] проведено аналіз використання генетичного алгоритму, методу імітації відпалу та штучного імунного алгоритму. В результаті проведеного експерименту авторами встановлено, що запропонований штучний імунний алгоритм перевершує інші алгоритми.

Досить цікавим є метод формування розкладу, що описаний в роботі [5]. Автор пропонує повністю евристичний підхід до створення розкладу, що враховує побажання студентів, та у розробці якого беруть участь усі охочі студенти.

В роботі [7] зроблено висновок про недоцільність повністю автоматизованого складання розкладу занять через трудомісткість побудови точних математичних моделей і пропонується використання діалогового процесу. Основні обмеження та види критеріальних функцій систематизовані в [6]. Автор наводить два критерії пошуку цільової функції: мінімізація витрат і максимізація ефективності складеного розкладу.

Ще одним напрямком, проаналізованим в наукових роботах, є використання елементів нечіткої логіки, що є доцільним, враховуючи вимоги суб'єктів навчального процесу.

Після проведення аналізу можна зробити висновок, що значна кількість наукових робіт присвячена розв’язанню задачі складання розкладу занять з використанням сучасних обчислювальних технологій та методів, зокрема генетичних алгоритмів. Проте варто зазначити, що реалізація цих методів є досить ресурсномістким процесом, який, враховуючи кількість заданих обмежень при розв’язанні задачі, часто не приводить до отримання прийнятного результату.

**Мета статті.** Метою роботи є вивчення методів, що використовуються при формуванні розкладу навчальних занять та розробка інформаційної системи для автоматизації управління розкладом занять вищого навчального закладу.

**Виклад основного матеріалу.** Вихідними даними для складання розкладу занять у вищому навчальному закладі є:

– навчальний план спеціальності;

- графік навчального процесу;

- навчальне навантаження викладачів на семестр;

- види навчальних занять (лекції, практичні заняття, лабораторні роботи);

- відомості про наявний аудиторний фонд;

- дані про кількість студентів в академічних групах;

- розподіл груп для практичних занять між викладачами;

- мотивовані побажання викладачів.

Опис математичної моделі, що використовується при формуванні розкладу занять наведено у [8].

Вихідною інформацією для формування розкладу занять є:

а) множина навчальних дисциплін;

б) множина навчальних груп;

в) множина викладачів;

г) множина аудиторій, що є у розпорядженні вищого навчального закладу;

д) множина часових інтервалів (пар).

При формуванні розкладу враховуються наступні обмеження.

1) Відсутність накладок для навчальних груп.

2) Відсутність накладок для аудиторій.

3) Відсутність накладок для викладачів.

4) Кількість пар, проведених протягом дня для кожної навчальної групи не має перевищувати задану.

5) Необхідність проведення запланованих на семестр занять в повному обсязі.

Тепер сформулюємо задачу складання розкладу навчальних занять. Для заданих множин циклів занять, аудиторій та навчальних одиниць часу протягом семестру потрібно знайти такий розклад, який задовольняє обмеженням і мінімізує значення критерію P втрат «якості» розкладу.

$$P = f(\alpha, \tau) = \sum_{i=1}^{N} c_i w_i(\alpha, \tau)$$

де $c_i$ – коефіцієнт штрафу за невиконання і-ї вимоги, $w_i$ – оцінка, що визначає ступінь невиконання і-ї вимоги.

Для розв’язання задачі складання розкладу занять використовуються наближені методи, до яких, зокрема, належать:

– метод лінійного цілочисельного програмування;

– метод розфарбовування графу;

– метод імітації відпалу;

– генетичний алгоритм.

Розглянемо детальніше наведені методи[9].

1) Метод розфарбовування графа

Під задачею розфарбовування графу розуміють пошук мінімального число кольорів, що необхідні для розфарбовування вершин графу таким чином, щоб для кожної пари сусідніх вершин використовувалися різні кольори.

При постановці задачі складання розкладу навчальних занять як задачі розфарбовування графу будують граф, в якому кожна з вершин є заняттям. У випадку конфліктів між двома вершинами, їх з'єднують ребром. Це означає заборону проведення даних занять в один час. Конфлікти виникають у випадках, коли обидва заняття проводяться в однаковий час одним викладачем, тощо.

Задача складання розкладу занять розглядається як мінімізація кількості кольорів, що необхідні для розфарбовування графа. При цьому враховується відповідність кожного кольору одному періоду занять.

2) Метод імітації відпалу

Наведемо загальну схему роботи методу імітації відпалу для задачі складання розкладу навчальних занять.

1 етап. На першій ітерації відбувається генерація деякого коректного початкового розкладу X0, який вважають поточним розв'язком задачі (X= X0).

2 етап. Задаються початкове, високе значення температури T0 і операції мутації (зміни) розкладу.

Мутація розкладу може бути забезпечена такими діями:

– зміна часу проведення заняття;

– зміна аудиторії проведення заняття;

– обмін місцями в розкладі двох занять.

3 етап. На основі введених операцій мутації і поточного рішення X генерується новий коректний розклад X', який злегка відрізняється від попереднього.

4 етап. Обчислюється зміна цільової функції f = f (X') - f (X):

– якщо f<0 (рішення не погіршилось), то X = X', тобто новий варіант розкладу стає поточним;

– якщо f> 0 (рішення погіршилось), то новий розкладу стає поточним тільки з ймовірністю $p = e^{-\Delta f / T}$. А з ймовірністю (1-p) попередній розклад зберігається в якості поточного.

На цьому етапі допускається збільшення цільової функції, але ймовірність цього зменшується з ростом f.

5 етап. Обчислюється функція зміни поточної температури.

Температура і ймовірність прийняти в якості поточного розкладу X розклад з великим значенням цільової функції зменшується з кожною ітерацією.

6 етап. Якщо не виконано критерій зупинки, то перейти до п. 3. Як критерій зупинки приймають наступні правила:

– виконання заданої кількості ітерацій;

– виконання заданої кількості ітерацій без поліпшення значення цільової функції на задане значення.

Попри простоту, даний метод може виявитися досить ефективним для складання невеликих розкладів.

3) Генетичний алгоритм

Генетичний алгоритм створення розкладу занять складається з наступних етапів.

1. Формування множини блоків навчальних занять.

2. Формування множини пар.

3. Створення матриці переваг викладачів.

4. Генерація початкової популяції хромосом.

4.1. Генерація екземпляру хромосоми.

Під генерацією хромосоми розуміють процес порівняння попередньо визначених блоків занять з часовими інтервалами. Кожному зв'язку «викладач-дисципліна-група» випадково призначається відповідний час у відповідний день тижня.

4.2. Перевірка згенерованої хромосоми на допустимість.

Проводиться перевірка, чи існують ситуації типу:

– «одна група одночасно перебуває на заняттях у декількох викладачів»;

– «викладач одночасно проводить різні види занять»;

– «сформовано заняття у неприйнятний для викладача час»;

– «один викладач одночасно проводить пару у різних групах».

4.3. Якщо описаних вище ситуацій не виникає, то формується допустимий екземпляр розкладу і відбувається його додавання до початкової популяції.

4.4. Перехід до п. 4.1.

5. Визначення оцінки (штрафу) хромосом у початковій популяції.

Оцінка хромосоми формується виходячи з того, наскільки вона не задовольняє накладеним умовам. Цими умовами можуть бути рівномірність розподілу занять протягом тижня, відсутність «вікон» у розкладі.

6. Вибір найкращої хромосоми з популяції, а також вибір ще однієї з 10 кращих.

7. Виконання операції кросингування для обраних двох хромосом.

8. Перевірка на допустимість отриманих в результаті кросингування хромосом.

9. У випадку отримання допустимих хромосом, проводиться їх оцінка.

9.1. Якщо отримані хромосоми кращі наявних, відбувається їх додавання у популяцію замість найгірших.

9.2. Якщо ж отримані екземпляри не кращі, тоді:

9.2.1. Виконання мутації.

Під мутацією розуміють процес внесення випадкових змін у хромосому. Випадковим чином відбувається вибір елемента хромосоми, що відповідає за співвідношення «тиждень - день - пара» і змінюється відповідно до переваг викладачів. Тобто замість випадково обраної зв'язки «тиждень - день - пара» на початковому етапі генерації хромосоми, ставиться зв'язка, що найкраще враховує побажання відповідного викладача.

9.2.2. Перевірка на допустимість: у випадку отримання допустимих хромосом, відбувається їх оцінка.

9.2.3. Якщо отримані хромосоми кращі наявних, відбувається їх додавання у популяцію замість найгірших.

10. Повторення пп. 6-9.

11. У будь-який момент можна припинити виконання алгоритму. Результатом роботи буде хромосома з найменшою оцінкою (штрафом).

Метою генетичного алгоритму є досягнення максимуму функціоналу:

$$R_{il} = \sum_{j=1}^{m} w_j k_{jl}$$

$$R_i = \max(R_{il}), l = 1...h$$

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i \to \max$$

де $R_{jl}$ – якість розташування і-го заняття на l-й позиції в розкладі;

$k_{jl}$ – значення, отримане по j-му критерію оцінки якості розташування заняття на l-й позиції в розкладі;

$w_j$ – ваговий коефіцієнт j-го критерію оцінки якості;

$m$ – кількість критеріїв оцінки якості;

$l$ – можлива позиція і-го заняття в розкладі;

$R_i$ – якість розташування і-го заняття в розкладі;

$h$ – кількість можливих варіантів розташування заняття в розкладі;

$R$ – якість складеного розкладу.

Важливою перевагою генетичного алгоритму є можливість застосування його на розкладах великої розмірності. До недоліків можна віднести складність роботи зі складно структурованими даними та їх взаємозв'язками, а також можливість передчасного закінчення роботи алгоритму без досягнення оптимального розкладу (у випадку, коли точкою зупинки вибрано недостатня кількість ітерацій чи через відсутність різноманітності хромосом популяції).

На сьогоднішній день на вітчизняному ринку існує декілька комерційних систем автоматизації управління розкладом занять у вищих навчальних закладах, до яких належать:

– Автоматизована система управління вищим навчальним закладом АСУ «ВНЗ», що розроблена Науково-дослідним інститутом Прикладних інформаційних технологій.

– Програма «Розклад», що міститься у пакеті програм «Деканат» приватного товариства «Політек-софт»[10].

– Автоматизована система управління вищим навчальним закладом «Університет», розроблена ТОВ «Юнітех+» [11].

– Система «Галактика Розклад навчальних занять» дозволяє автоматизувати процес складання розкладу занять. Процес формування розкладу в системі складається з етапів підготовки інформації, планування, налаштування програмного продукту, власне формування розкладу, оптимізації[12].

Якість і зручність використання систем автоматизації управління розкладом занять у закладах вищої освіти залежать від професійного досвіду розробників та визначених технічних вимог, але можна спостерігати типові переваги та недоліки, що є притаманними таким інформаційним системам.

Одним з недоліків інформаційних систем, що створені незалежними розробниками, вважають їх надмірну комерціалізацію, тобто коли внесення навіть незначних змін стає значною проблемою, що потребує додаткових фінансових оплат, укладання нових договорів тощо. Також такі розробки досить часто містять функціональні можливості, що не використовуються замовником і водночас не відбувається врахування деяких специфічних особливостей, притаманних певному вищому навчальному закладу.

Перевагами комерційних систем є технічна підтримка з боку розробників та належна документованість, що значною мірою полегшує роботу.

Однак системи власної розробки вищого навчального закладу більш точно відповідають його специфічним вимогам, оскільки розробка проходить у тісному контакті з майбутніми користувачами та є більш зручними для використання персоналом навчального закладу.

Також повноцінна робота з комерційними системами вимагає від користувача додаткових навичок роботи з комп'ютером, що не є характерними для його професійної діяльності, або ж передбачає залучення фахівців, компетентних у галузі комп'ютерної техніки та програмування.

У інформаційних системах власної розробки подібні проблеми вирішуються програмістами ще на стадії реалізації продукту, надаючи користувачам інструмент, що є максимально адаптованим під їхні професійні вимоги.

Для автоматизації управління розкладом занять вищого навчального закладу була поставлена задача створення інформаційної системи, яка б мала наступні функціональні можливості:

– автоматизація процесу складання розкладу занять;

– корегування розкладу занять;

– редагування інформації про основні об'єкти розкладу: викладачі, дисципліни, навчальні групи, аудиторний фонд, навчальних план, тощо;

– редагування та перегляд розкладу має бути зручним та відповідати сучасним тенденціям розвитку інформаційних технологій.

Інформаційна система структурно поділяється на 2 підсистеми: підсистема адміністрування розкладу та підсистема перегляду розкладу.

Підсистема адміністрування включає генерацію, редагування та публікацію у відкритий доступ коректного розкладу занять. Передбачається, що процесом створення розкладу керує спеціаліст навчального відділу ВНЗ або відповідальний за координації навчальних занять у комп'ютерних класах, тому доступ до цієї підсистеми повинен бути обмежений. Обмеження доступу реалізується із використанням аутентифікації користувача. Користувач, який пройшов аутентифікацію вводить вхідні дані для генерації розкладу, а саме:

– перелік навчальних груп;

– інформацію про викладачів (ПІБ, посада);

– дані про аудиторний фонд ВНЗ;

– перелік дисциплін, що викладаються;

– кількість годин по всім видам навчальних занять (лекції, практичні заняття, лабораторні роботи) за кожною дисципліною.

Після введення необхідних даних відбувається автоматична генерація розкладу занять з можливістю подальшого корегування отриманого розкладу в ручному режимі в разі виникнення необхідності.

Також підсистема адміністрування надає користувачам можливість:

– перегляду наявного розкладу занять за групами та викладачами,

– додання запису до розкладу занять в ручному режимі;

– перегляду інформації з навчальних планів, що містить дані про дисципліну, форму контролю (залік/іспит), обсяг роботи у годинах за всіма видами навчальних занять, тощо.

При додаванні запису до розкладу занять необхідно вказати наступну інформацію: день тижня у який проводиться заняття, номер пари, назва дисципліни, прізвище викладача, номер аудиторії, вид заняття (лекція, практичне заняття, лабораторна робота), вид тижня (парний/непарний). Приклад інтерфейсу підсистеми адміністрування наведено на рис. 1.

Для розробки підсистеми адміністрування розкладу були обрані Інтернет-технології, які дозволяють реалізувати описані вище функціональні можливості. Для зберігання даних на сервері була обрана система керування базами даних MySQL. Для створення зручного інтерфейсу користувача обрано мову програмування JavaScript (із бібліотекою JQuery) та інструменти формування гіпертекстових сторінок HTML та CSS. Реалізація бізнес-логіки на стороні сервера забезпечується мовою PHP.

Рис. 1. Сторінка редагування розкладу

Для зручного перегляду створеного розкладу занять було вирішено розробити додаток для пристроїв на базі операційної системи Android. Підсистема перегляду розкладу надає користувачам можливість зручного перегляду розкладу занять на семестр по групах та викладачам, а також розкладу дзвінків. Приклад створеного інтерфейсу користувача наведено на рис. 2.

а б

в

Рис. 2. Інтерфейс додатку: а – сторінка головного меню, б – розклад занять для студентів, в – перегляд розкладу занять викладача

Додаток працює на будь-якому сучасному пристрої з операційною системою Android. Існує можливість встановлення додатку на мобільний пристрій з офіційного сайту вищого навчального закладу або через Google Play.

На етапі проектування системи було створено базу даних, що складається з 12 таблиць, які містять дані про навчальні дисципліни, викладачів, академічні групи, аудиторний фонд ВНЗ, тощо. Схема розробленої бази даних представлена на рис. 3.

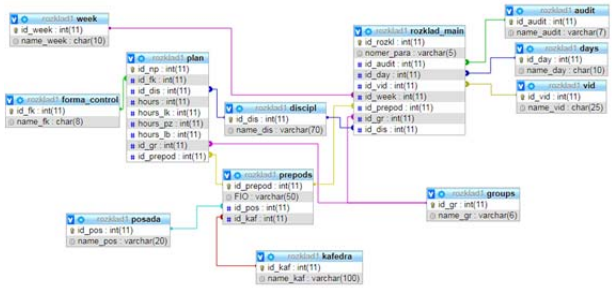


Рис. 3. Схема бази даних

Схема роботи програмних технологій підсистеми адміністрування розкладу представлена на рис. 4.

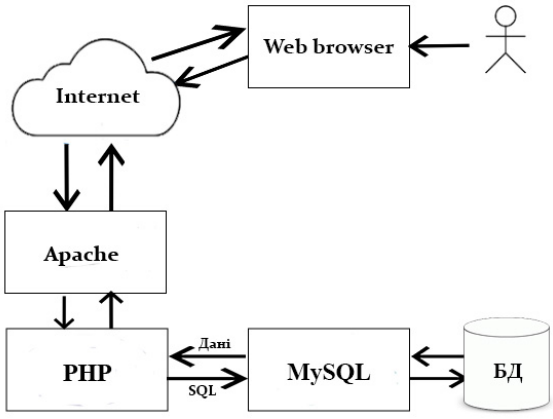



Рис. 4. Підсистема адміністрування розкладу

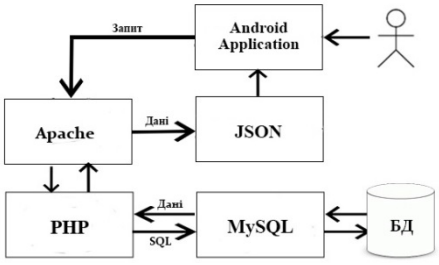



Рис. 5. Підсистема перегляду розкладу занять

При розробці підсистеми перегляду розкладу занять використовується наступна програмна архітектура: Android-додаток взаємодіє з сервером, який за допомогою інтерпретатора PHP взаємодіє з базою даних та генерує json-масив. Отримані дані візуалізуються в Android-додатку. Для створення підсистеми було вирішено використовувати інтегроване середовище розробки Android Studio, що надає всі необхідні засоби для розробки мобільних додатків.

Структура розробленої підсистеми представлена на рис. 5.

**Висновки.** Здійснено опис методів, що використовуються для розв'язання задачі складання розкладу занять у вищому навчальному закладі. Наведені наявні результати по створенню інформаційної системи для управління розкладом занять. Програмні технології, які застосовані у процесі розробки відповідають сучасним тенденціям розвитку інформаційних технологій та є гнучкими до модифікації та розширення, що надає можливості для подальшого розвитку.

**Література**

1. Астахова И.Ф. Составление расписания учебных занятий на основе генетического алгоритма/ И.Ф. Астахова, А.М. Фирас// Вестник ВГУ. – (Серия «Системный анализ и информационные технологии»). – 2013. – №2. – С. 93 – 99.
2. Mehdi Y. Algorithms for university course scheduling problems / Y. Mehdi, E. Zeinali, B. Naderi. // Technical gazette. – 2017. – №2. – С. 241–247.
3. Tanomaru J. Staff Scheduling by a Genetic Algorithm with Heuristic Operators [Електронний ресурс] / Julio Tanomaru. – 1995. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/nepomuceno/00489191.pdf.
4. Ni J. Genetic Algorithm and its Application in Scheduling System / J. Ni, N. Yang. // Telkomnika, Vol. 11. – 2013. – №4. – С. 1934–1939.
5. Соуса Ф. Повністю евристичний розклад занять, керований побажаннями студентів/ Ф. Соуса, А. Алвес/ Наукові праці ВНТУ. – 2009. – №2. – С. 1 – 4.
6. Леонова М. В. Моделювання задач складання розкладу занять у ВНЗ: огляд та різні підходи до розв'язування / М. Леонова // Вісник Запорізького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 52 – 59.
7. Семенов С.П. Сравнительный анализ подходов к автоматизации составления расписаний учебных занятий в образовательных учреждениях/ С.П. Семенов, Я.Б. Татаринцев// Известия Алтайского государственного университета. – 2010. – С. 103 – 105.
8. Композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий / Ю. С.Кабальнов, Л. И. Шехтман, Г. Ф. Низамова, Н. А. Земченкова. // Вестник УГАТУ. – 2006. – №2. – С. 99–107.
9. Томашевський В. М. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання / В. М. Томашевський, Ю. Л. Новіков, П. А. Камінська. // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – 2010. – №52. – С. 118–130.
10. Пакет програм «Деканат» [Електронний ресурс] // Режим доступу URL http://www.politek-soft.kiev.ua/index.php?do=products&product=deanery
11. Автоматизована система управління вищим навчальним закладом III-IV рівня акредитації [Електронний ресурс] // Режим доступу URL http://www.unitex.com.ua/products/commercial-software/automated-system-for-higher-education-institution/

12. Галактика РУЗ - Автоматизированное формирование расписания занятий для образовательных учреждений [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://galaktika.ua/ruz/.

**R e f e r e n c e s**

1. Astahova I.F. Sostavlenie raspisaniya uchebnyih zanyatiy na osnove geneticheskogo algoritma/ I.F. Astahova, A.M. Firas// Vestnik VGU. – (Seriya «Sistemnyiy analiz i informatsionnyie tehnologii»). – 2013. – #2. – S. 93 – 99.
2. Mehdi Y. Algorithms for university course scheduling problems / Y. Mehdi, E. Zeinali, B. Naderi. // Technical gazette. – 2017. – №2. – C. 241–247.
3. Tanomaru J. Staff Scheduling by a Genetic Algorithm with Heuristic Operators [Електронний ресурс] / Julio Tanomaru. – 1995. – Режим доступу до ресурсу: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/nepomuceno/00489191.pdf.
4. Ni J. Genetic Algorithm and its Application in Scheduling System / J. Ni, N. Yang. // Telkomnika, Vol. 11. – 2013. – №4. – C. 1934–1939.
5. Sousa F. Povnistyu evrystychnyj rozklad zanyat`, kerovany`j pobazhannyamy studentiv/ F. Sousa, A. Alves/ Naukovi praci VNTU. – 2009. – #2. – S. 1 – 4.
6. Leonova M. V. Modelyuvannya zadach skladannya rozkladu zanyat` u VNZ: oglyad ta rizni pidxody do rozv'yazuvannya / M. Leonova // Visnyk Zaporiz`kogo nacional`nogo universy`tetu. – 2013. – # 1. – S. 52 – 59.
7. Semenov S.P. Sravnitelnyiy analiz podhodov k avtomatizatsii sostavleniya raspisaniy uchebnyih zanyatiy v obrazovatelnyih uchrezhdeniyah/ S.P. Semenov, Ya.B. Tatarintsev// Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2010. – S. 103 – 105.
8. Kompozitsionnyiy geneticheskiy algoritm sostavleniya raspisaniya uchebnyih zanyatiy / Yu. S.Kabalnov, L. I. Shehtman, G. F. Nizamova, N. A. Zemchenkova. // Vestnik UGATU. – 2006. – #2. – S. 99–107.
9. Tomashevskiy V. M. Skladannya rozkladIv zanyat u distantsIynih sistemah navchannya / V. M. Tomashevskiy, Yu. L. NovIkov, P. A. KamInska. // VIsnik NTUU «KPI». Informatika, upravlInnya ta obchislyuvalna tehnIka: zbIrnik naukovih prats. – 2010. – #52. – S. 118–130.
10. Paket program «Dekanat» [Elektronniy resurs] // Rezhim dostupu URL http://www.politek-soft.kiev.ua/index.php?do=products&product=deanery
11. Avtomatizovana sistema upravlInnya vischim navchalnim zakladom III-IV rIvnya akreditatsIYi [Elektronniy resurs] // Rezhim dostupu URL http://www.unitex.com.ua/ products/ commercial-software/automated-system-for-higher-education-institution/
12. Galaktika RUZ - Avtomatizirovannoe formirovanie raspisaniya zanyatiy dlya obrazovatelnyih uchrezhdeniy [Elektronniy resurs] – Rezhim dostupu do resursu: http://galaktika.ua/ruz/.

**Волков С.В., Коваленко Д.А. Информационная система генерации и доступа к расписанию учебных занятий в компьютерных классах высшего учебного заведения.**

*Рассматривается задача формирования расписаний занятий в высших учебных заведениях. В статье проводится анализ публикаций, посвященных задаче формирования расписаний занятий.*

*Рассмотрены методы автоматизированного составления расписания занятий ВУЗа, основные направления разработки, представлены имеющиеся результаты по созданию информационной системы для управления расписанием занятий.*

***Ключевые слова:** расписание занятий, высшее учебное заведение, автоматизация, информационная система, управление расписанием занятий.*

**Volkov S., Kovalenko D. Information system of generation and access to the timetable in computer classes of the higher educational institution**

*The problem of scheduling classes in higher education institutions is considered. The article analyzes the publications devoted to the problem of the scheduling classes.*

*It is considered the methods for automation creation of high school's schedule, basic direction of development, describes results of created by authors information system for schedule management in higher education institutions.*

***Keywords**: timetable, higher education institution, automatization, information system, schedule management.*

**Волков Сергій Володимирович** – старший викладач кафедри вищої математики та комп'ютерних технологій Інституту хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля (м. Рубіжне)
**Коваленко Дар'я Андріївна –** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Татарченко Г.О.***

Стаття подана 20.10.2018

УДК: 004.4’272

# РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПРИВАТНИХ ЦЕНТРІВ ПАРКУВАННЯ

**Деркач М.В., Лисак В.В., Скарга-Бандурова І.С.**

# DEVELOPING MOBILE APPLICATION FOR PRIVATE PARKING CENTERS

**Derkach M., Lysak V., Skarga-Bandurova I.**

*У статті розглянута задача розробки мобільного додатку для приватних центрів паркування. Наведено приклади наявних інформаційних сервісів. Запропоновано функціонал додатку, що використовується для моніторингу центрів паркування, інформування користувачів про наявність вільних місць та бронювання/керування паркомісцем для клієнтів сервісу. Головною відмінністю запропонованого додатку є можливість здійснити пошук вільного центру паркування на найкоротшій відстані від поточного місцеперебування автовласника.*

***Ключові слова**: мобільний додаток, центр паркування, автотранспорт, сервіс, паркомісце.*

**Вступ.** Зростання населення та посилення урбанізації породжують різні технічні, соціальні, економічні та організаційні проблеми, які, в ряді випадків, ставлять під загрозу екологічну стійкість міст. Зокрема у великих містах існує проблема, пов’язана з неефективним використанням паркувальних місць та нерівномірним розподілом автомобільного трафіку, що у свою чергу, призводить до заторів транспортного руху.

Використання технологій на основі Інтернету речей, дає змогу створити платформу для підвищення ефективності наявних паркувальних систем, а саме реалізувати пошук вільного центру паркування на найкоротшій відстані від водія і, таким чином, частково розв'язувати проблему заторів, що виникають в наслідок неефективного руху автомобілів в загальному потоці для пошуку місця для паркування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Мобільні додатки транспортної галузі охопили майже весь світ. Їх впровадження є дуже корисним за для розв'язання виникаючих проблем, завдяки сервісам, що надають можливості автоматичного планування маршрутів, моніторингу безпеки руху транспортних засобів, володіння інформацією про паркування, збору даних про транспортування, викиди палива та споживання під час подорожей. Різноманітні сервіси використовуються для багатьох транспортних задач, включаючи навігацію, місцеположення та місця для паркування транспортних засобів, збір даних про рух, інформацію про подорожі, планування маршрутів та інші. Існує безліч додатків цілеспрямованих для безпеки руху, кількісної емісії транспортування [1], відображення інформації про подорожі в режимі реального часу для мандрівки [2]. Відомий проект Національної Адміністрації дорожньої безпеки дорожнього руху [3], було створено мобільний додаток під назвою "безпечний автомобіль". Ця програма спрямована на полегшення доступу та надання інформації про важливі проблеми безпеки автомобіля. Департамент транспорту Теннессі (TDOT) розробив свій мобільний додаток "TDOT SmartWay мобільний додаток", що здійснює моніторинг робочих швидкостей та інцидентів [4].

Стосовно послуг для автовласників, відомі онлайн-сервіси для таких країн, як Великобританія, Німеччина, Швеція, Сінгапур, Індія. Широко використовуються паркувальні системи з різними технологіями, а саме з використанням датчиків для підрахунку кількості [5], або для встановлення точного розташування вільних місць [6].

Однак, попри розмаїття мобільних додатків і сервісів, пов'язаних з транспортом, оптимального рішення для системи паркування у багатьох країнах ще не знайдено. У сучасних містах знайти та зекономити час на пошук вільного місця для паркування все ще є важкою задачею для водіїв, і це стає дедалі складнішим завданням. Проблеми, пов'язані з паркуванням та затори можуть бути вирішені, якщо водії будуть мати змогу заздалегідь володіти інформацією про центри паркування та наявність вільних місць на них, і що набагато зручніше отримати відомості про найближчий центр [7]. Тому пропонується розробити власний сервіс, що буде використовуватися для моніторингу та

інформування про стан доступності кожного окремого центру паркування.

**Мета статті.** Розробити додаток для приватних центрів паркування, де, як клієнт (власник автотранспорту), так і власник центру може управляти місцем паркування.

**Основний зміст роботи.**

Згідно з поставленим завданням, мобільний додаток має підтримувати реалізацію наступних дій:

– пошук найближчого центру паркування;

– перевірка наявності вільних місць для паркування;

– бронювання паркувальних місць в режимі реального часу.

За для цього доцільно застосувати технологію IoT, яка дозволить виконати обробку даних у режимі реального часу та здійснювати моніторинг центрів паркування, що, у свою чергу, підвищить продуктивність та надійність міської інфраструктури.

У роботі [8], автори пояснюють термін IoT у формі наступного рівняння:

Фізичний об'єкт + Контролер, датчик і виконавчі пристрої + Інтернет = Інтернет речей (IoT)

Тобто, в нашому випадку, основна функціональність IoT полягає в тому, щоб забезпечити зв'язок між центром паркування та автовласниками, за допомогою Інтернету та мобільних додатків. На рис. 1 зображено загальний принцип розробки, а саме декілька майданчиків зі своїми паркомісцями, збереження та передачу шляхом Інтернет-запиту інформації про найближчий центр паркування, а саме час, коли місця вільні, на смартфони клієнтів автомобілів.

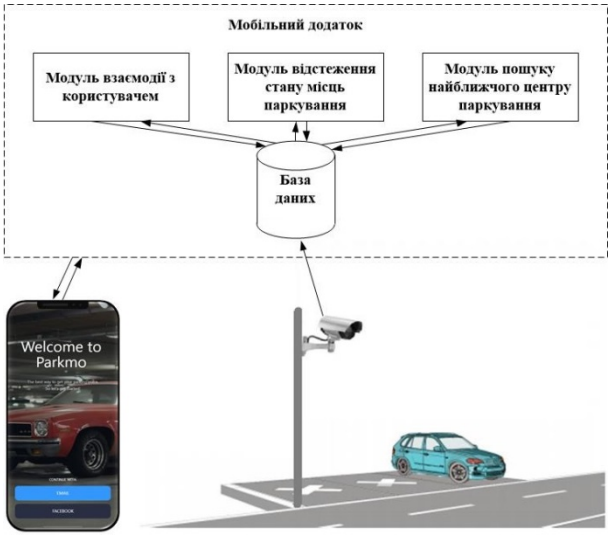



Рис. 1. Загальний принцип розробки

Задля реалізації головної функції розроблено алгоритм пошуку центру паркування, що розташований на найкоротшій відстані від поточного місцеперебування автовласника:

1) відомо множина географічних координат центрів паркування $\{K^n\}$:

$$K=\{K^n\},\ K^n=(K^n_{lat},\ K^n_{lng}), \quad (1)$$

де $K^n_{lat}$ – широта центру, $K^n_{lng}$ - довгота центру, n – порядковий номер центру серед загальної кількості.

2) відомо розташування автовласника:

$$O=(O_{lat},\ O_{lng}), \quad (2)$$

де $O_{lat}$ – широта об'єкту, $O_{lng}$ - об'єкту.

3) дані п.1 та п.2 використовуються для розрахунку відстані між об'єктом та кожним центром паркування за допомогою формул гаверсинусів:

$$d=\Delta\sigma\cdot R, \quad (3)$$

де $d$ – відстань між двома точками; $R$ – радіус Землі; $\Delta\sigma$ – кутова різниця.

$$\Delta\sigma=2\arcsin\left\{\sqrt{\sin^2\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right)+\cos\varphi_1\cos\varphi_2\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)}\right\}, \quad (4)$$

де $\varphi_1$, $\lambda_1$; $\varphi_2$, $\lambda_2$ – широта та довгота двох точок відповідно; $\Delta\lambda$ – різниця координат за довжиною; $\Delta\sigma$ – кутова різниця.

4) в результаті виконання п.3 отримали множину відстаней $D$:

$$D=\{d_i\}, \quad (5)$$

де $d_i$ – відстань між поточним місцеперебуванням об'єкту та кожним центром паркування.

5) серед отриманих відстаней $d$ обирається найменша, що відповідає критеріям пошуку:

$$d=min(D). \quad (6)$$

Перевірка роботи наведеного алгоритму проводилась шляхом порівняння розрахованих відстаней з результатами отриманими за допомогою засобів Google Maps API. Попри те що цей сервіс повертає майже точний результат, існує суттєвий недолік, а саме обмеження застосування зводиться до 2500 запитів на добу, а кількість запитів від користувачів мобільного додатку заздалегідь невідома.

Так, для кожної з 10 контрольних точок, розташованих у випадковому порядку, було проведено розрахунок відстаней до всіх можливих паркувальних майданчиків. Приклад розрахунку для точки 1 надано на рис. 2.

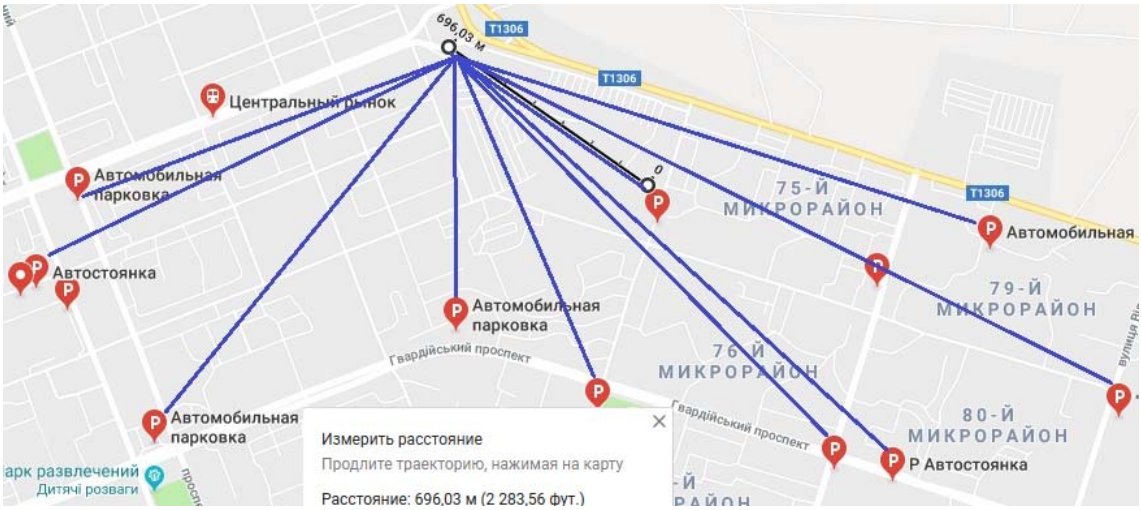



Рис. 2. Приклад розташування центрів паркування

В результаті, для точки 1 отримано таку множину відстаней: D={1,462; 1,589; 1,514; 1,291; 1,130; 1,328; 0,711; 0,983; 0,696; 1,320}.

Серед яких найкоротша відстань складає 0,696 км, що збігається з результатами, отриманими від Google Maps API (рис. 2). Це дає змогу, зробити висновок, що алгоритм може реалізувати пошук найближчого центру паркування і не буде залежить від кількості запитів.

Для реалізації перевірки наявності вільних місць для паркування та надання інформації водієві виконуються наступні дії: треба вибрати центр паркування серед наявних місць у базі даних, а потім обрати необхідний проміжок часу для паркування в режимі “Календар”.

Для бронювання в режимі реального часу паркувальних місць необхідна інформація з бази даних сервісу про час і номери наявних вільних місць для кожного паркувального центру. Для цього формується запит по ідентифікатору місця паркування, в результаті виконання якого отримується відповідь у форматі JSON.

Запит виглядає наступним чином:

```
http://localhost:4000/graphql?=query{
placeBooking(placeNum:2205){duration{fromto}
idisBusyplaceIdplaceNumuser {idfullNameemail}}}
```

Повертає масив даних про вільний час обраного місця для подальшої інтерпретації у звичайний вигляд для мобільного додатку:

```
{"data":{"placeBooking":["duration":{"from":"20
18-11-16T18:00:00Z","to":"2018-11-
16T23:00:00Z"},"id":"1542375056291962597","isBu
sy":false,"placeId":21,"placeNum":2205,"user":{
"email":"","fullName":"","id":0}},{"duration":{
"from":"2018-11-17T03:00:00Z","to":"2018-11-
17T15:00:00Z"},"id":"1542375056291963558","isBu
sy":false,"placeId":21,"placeNum":2205,"user":{
"email":"","fullName":"","id":0}}]}}
```

Також мобільний додаток реалізуватиме такий сервіс, за допомогою якого власники центрів можуть реєструвати свої площі з паркомісцями та здійснювати керування ними, а власники автомобілів можуть переглядати список центрів і місць паркування, орендувати, забронювати, а також вказувати, що орендоване клієнтом місце вільно в певний проміжок часу, це дозволить відстежити зв'язок кожного користувача та зберігати таку інформацію, як час на якій був припаркований автомобіль та тривалість часу для паркування автомобіль. Загалом, мобільний додаток матиме зовнішній вигляд, як на рис. 3.

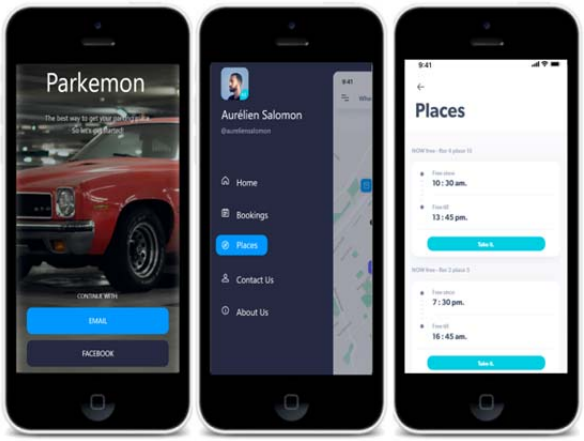



Рис. 3. Зовнішній вигляд мобільного додатку

**Висновок.** Огляд наявних сервісів дозволив врахувати світовий досвід для реалізації мобільного додатку, що надає інформацію про наявність автостоянок, кількість вільних паркомісць в режимі реального часу, час, у якій паркомісця вільні для потрібного району; також користувачі мають змогу забронювати місце на обраній автостоянці. Розробка спрямована на підвищення якості наданих послуг у сфері автотранспорту. Головною відмінністю пропонованого рішення є надання інформації про центр паркування, що знаходиться найближче до поточного місця розташування автовласника**.**

**Література**

1. Dutzik T. A New Way to Go. The Transportation Apps and Vehicle-sharing. Tools that Are Giving More Americans. The Freedom to Drive Less / T. Dutzik, T. Madsen, P. Baxandall // U.S. PIRGEducation Fund. - 2013.
2. Siuhi S. Opportunities and challenges of smart mobile applications in transportation / S. Siuhi, J. Mwakalonge // Journal of traffic and transportation engineering (english edition). - 2016. – No. 3 (6). – pp. 582 - 592.
3. National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA), 2013. Safercar. Available at: http://www.safercar.gov/
4. Tennessee Department of Transportation (TDOT), 2014. TDOT SmartWay Mobile App. Available at: http://www.tdot.state.tn.us/tdotsmartway/mobile/
5. Ji Y. Understanding drivers' perspective on parking guidance information / Y. Ji, W. Guo, P. Blythe, D. Tang, W. Wang // IET Intell. Transp. Syst. – 2014. - vol. 8, no. 4. - pp. 398–406.
6. Rajabioun T. On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models / T. Rajabioun, P. Ioannou // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. – 2015. - vol. 16, no. 5. - pp. 2913–2924.
7. Harshal V. Parking Guidance system using Internet of Things / V. Harshal, G. Mulay, V. Gohokar // International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT 2016) . – 2016. - pp. 518-523.
8. Khanna A. IoT based Smart Parking System / A. Khanna, R. Anand // International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA) Maharashtra Institute of Technology. - 2016. – pp. 266 - 270.

**References**

1. Dutzik T. A New Way to Go. The Transportation Apps and Vehicle-sharing. Tools that Are Giving More Americans. The Freedom to Drive Less / T. Dutzik, T. Madsen, P. Baxandall // U.S. PIRGEducation Fund. - 2013.
2. Siuhi S. Opportunities and challenges of smart mobile applications in transportation / S. Siuhi, J. Mwakalonge // Journal of traffic and transportation engineering (english edition). - 2016. – No. 3 (6). – pp. 582 - 592.
3. National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA), 2013. Safercar. Available at: http://www.safercar.gov/
4. Tennessee Department of Transportation (TDOT), 2014. TDOT SmartWay Mobile App. Available at: http://www.tdot.state.tn.us/tdotsmartway/mobile/
5. Ji Y. Understanding drivers' perspective on parking guidance information / Y. Ji, W. Guo, P. Blythe, D. Tang, W. Wang // IET Intell. Transp. Syst. – 2014. - vol. 8, no. 4. - pp. 398–406.
6. Rajabioun T. On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models / T. Rajabioun, P. Ioannou // IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. – 2015. - vol. 16, no. 5. - pp. 2913–2924.
7. Harshal V. Parking Guidance system using Internet of Things / V. Harshal, G. Mulay, V. Gohokar // International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT 2016) . – 2016. - pp. 518-523.
8. Khanna A. IoT based Smart Parking System / A. Khanna, R. Anand // International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA) Maharashtra Institute of Technology. - 2016. – pp. 266 - 270.

**Деркач М.В., Лысак В.В., Скарга-Бандурова И.С. Разработка мобильного приложения для частных центров парковки**

*В статье рассмотрена задача разработки мобильного приложения для частных центров парковки. Приведены примеры существующих сервисов. Предложен функционал приложения, который используется для мониторинга центров парковки, информирование пользователей о наличии свободных мест и бронирование / управление паркоместом для клиентов сервиса. Главным отличием предложенного приложения является возможность осуществить поиск свободного центра парковки на кратчайшем расстоянии от текущего местоположения автовладельца.*

**Ключевые слова:** *мобильное приложение, центр парковки, автотранспорт, сервис, паркоместо.*

**Derkach M., Lysak V., Skarga-Bandurova I. Developing mobile application for private parking centers**

*The article deals with the task of developing a mobile application for private parking centers. Examples of existing services are given. The functionality of the application, which is used for monitoring of parking centers, informing users about the availability of seats and booking / managing the parking space for service customers, is proposed. The main difference between the proposed applications is the possibility to search for a free parking center at the shortest distance from the current location of the car owner.*

**Keywords:** *mobile app, parking lot, motor transport, service, parking space.*

**Деркач М.В.** – ст.викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: gln459@gmail.com

**Лисак В.В.** – здобувач вищої освіти Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: logan83955@gmail.com

**Скарга-Бандурова І.С.** – д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 16.11.2018

УДК 004.96

# ПРОФІЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ВОДІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ, ОТРИМАНИХ З OBD-II ПРИСТРОЮ

**Думма В.О., Скарга-Бандурова І.С., Міщенко Ю.Г.**

# PROFILING DRIVER BEHAVIOR USING DATA RECEIVED FROM AN OBD-II DEVICE

**Dumma V.O., Skarga-Bandurova I.S., Mischenko Yu.G.**

*В роботі проаналізовано існуючі методи оцінювання поведінки водія, виділені їх можливості та обмеження. Для профілювання використовуються дані, отримані зі смартфону та OBD-II пристрою компанії VehicleMind. Методика оцінювання поведінки водія ґрунтується на засадах нечіткої логіки та, завдяки додатковому джерелу вхідних даних, дозволяє відрізнити продольні та бічні прискорення, виконувати більш точну оцінку поведінки і створення профілю водія. У запропонованому механізмі вважається, що водій характеризується інтегральною оцінкою, що являє собою комбінацію балів, отриманих під час руху в містах, приміських та позаміських районах.*
***Ключові слова**: поведінка водія, профілювання, OBD-II пристрій, нечітке правило*

**Вступ.** Останнім часом, профілювання поведінки водіння набуває актуальності в різних середовищах. Так, наприклад, на ринку страхування автомобілів схеми Usage Based Insurance (UBI) або Pay-As-You-Drive (PAYD) дозволяється адаптувати вартість страхового поліса до індивідуальної поведінки власника автомобіля. Крім того, дані щодо поведінки водіїв використовуються в системах управління автопарками для тимчасового проведення сервісних робіт та запобігання несправностей [1, 2]. Щоб відстежувати поведінку водія, було розроблено низку систем, що використовують виділені телематичні пристрої [3, 4], які реєструють різні параметри і події. Інформація, що реєструється цими пристроями, може бути витягнута вручну або відправлена через Інтернет по бездротовому з'єднанню. Крім того, у зв'язку зі збільшенням чутливості та поширенням мобільних пристроїв, таких як планшети і смартфони (наприклад, акселерометри, магнітометри, GPS), в останні роки були застосовані інструменти для оцінювання поведінки водіння за допомогою додатків. На ринку страхування автомобілів Aviva RateMyDrive [5] і StateFarm DriverFeedback [6] мають рейтинг найпопулярніших мобільних додатків для iOS і Android. В обох випадках надана оцінка використовується в якості внеску для коригування вартості політики страхування, забезпечуючи скорочення політики до 20%. З іншого боку, Greenroad [1] є онлайн-платформним управлінням автопарком. На цій платформі водії використовують додаток, що зчитує дані, і регулярно відправляють дорожні траси в систему, яка в свою чергу агрегує показники різних водіїв, щоб надати адміністраторам автопарку опис індивідуальної та групової безпеки водіння, а також інформацію про економічність та екологічність (наприклад, витрата палива, викиди $CO_2$ та ін).

Проте, профілювання поведінки водіння через смартфони створює деякі проблеми з релевантністю показників (головним чином через те що смартфон фізично ніяк не зафіксований). Окрім того, смартфон немає жодного зв’язку з вбудованою системою автомобіля, що надає низку корисних даних (значення температури, коди помилок, рівень палива, напруги і т.д.). Отримати доступ до вбудованої системи автомобіля можна за допомогою системи бортової діагностики OBD-II (On-board diagnostics) [7]. Останнім часом на ринку стали з’являтися пристрої, що комбінують в собі зчитувач даних з OBD-II роз’єму та сенсори зі смартфонів (акселерометр, GPS ті інші), один з таких пристроїв розробляється в компанії VehicleMind [8].

**Мета статті** - запропонувати модель профілювання поведінки водіїв за допомогою даних отриманих з OBD-II пристрою розробленого компанією VehicleMind.

**Пов’язані роботи**. Eren та колеги [9] розробили алгоритм класифікації водіїв, який розрізняє ризикованих і безпечних водіїв. Вони розглядали згладжені прискорення, дані гіроскопа і магнітометра зі смартфонів для визначення часу початку і часу проведення подій (наприклад, раптових маневрів, агресивності, гальмування або прискорення) за допомогою алгоритму ковзного

середнього та емпіричних порогів. Автори обчислили схожість кожної події з даними шаблону (ризикованої та безпечної поведінки) з використанням алгоритму динамічної трансформації часової шкали (Dynamic Time Warping - DTW) і використовували Байєсову класифікацію, щоб вирішити, чи є поведінка водія безпечною або ризикованою. Пропонується оціночне дослідження для п'ятнадцяти водіїв з використанням iPhone і фіксованих точок відправлення та прибуття. Ця робота показує успішний відсоток класифікації 93,3%. Johnson [10] також запропонував заснований на DTW алгоритм профілювання драйвера, який використовує датчики, GPS і камеру під назвою MIROAD. У цій роботі були оцінені характеристики різних наборів датчиків для виявлення бічних і поздовжніх рухів. Після оцінки більш ніж 200 подій водіння автор показав, що набір злиття датчиків, що складається з швидкості обертання осі X, прискорення по осі Y та уклону, забезпечує найкращу ефективність класифікації з використанням DTW. Paefgen [11] був зосереджений на точності даних смартфонів для аналізу поведінки водія, в основному орієнтованого на ринок страхування. Після процесу калібрування, коли користувач вручну встановлює основний напрямок транспортного засобу, додаток для мобільних пристроїв починає збирати події прискорення, гальмування та керування рулем. Ці події спрацьовують, якщо чутливі дані перекривають деякі зумовлені порогові значення (тобто 0,1g для прискорення і гальмування і 0,2g для управління). Автори запропонували провести дослідження з вимірювання, щоб порівняти виявлення подій з використанням смартфонів-сенсорів проти телематичного пристрою. Вони відзначили, що розподіл лічильника подій відповідає різним статистичним розподілам, що в основному пояснювалося відмінностями і зрушенням між смартфоном і автомобілем. Проте, автори виявили деякі кореляції між подіями смартфона і телематичного пристрою і описали деякі можливі джерела помилок. You та колеги [12] запропонували CarSafe, додаток для смартфонів, який об'єднує інформацію з передніх і задніх камер, датчиків і GPS для виявлення небезпечних подій водіння. Зокрема, автори показали, що сонливість (основна причина ДТП [13]) може бути виявлена з використанням алгоритмів обробки передньої камери і обробки зображень з точністю 85%. З метою надання водіям корисних порад, спрямованих на зниження споживання енергії, Araujo та колеги [14] запропонували додаток для смартфонів, який об'єднує GPS і інформацію з шини CAN (з використанням OBD-пристрою). Деякі з порад, які може надати додаток - вимкнути двигун, переключити передачу раніше або збавити швидкість. В якості вхідних даних вони враховуються середні, мінімальні і максимальні значення швидкості, прискорення і споживання палива, і ці дані об’єднуються в нечіткій системі. Вони оцінили і підтвердили свої алгоритми на платформі Android, яка використовується в декількох експериментах в одному автомобілі. Castignani та колеги [15] зчитували показники з акселерометру й GPS зі смартфону та знайшли зв'язок між цими показниками й показниками з OBD-II пристрою. Вони запропонували математичну модель для визначення поведінки водія з використанням нечітких множин та нечітких правил. Експеримент проводився на 20 автомобілях у 550 подорожах логістичної компанії Люксембургу в ході якого були вирахувані покажчики безпечності водіння для кожного водія.

Таким чином, профілювання поведінки водіїв є актуальною задачею в сферах пов’язаних з безпекою дорожнього руху, особливо за умов збільшення кількості автомобілів та водіїв. Разом с тим, задача профілювання поведінки водіїв наразі не є цілком вирішеною, оскільки не було запропоновано надійного та стандартизованого методу оцінювання поведінки водіїв. Вирішення цієї проблеми вимагає застосування новітніх підходів з використанням даних зібраних з різних джерел, таких як сенсори та вбудована діагностична система автомобіля.

Інтелектуальні методи, такі як нейронні мережі, також використовуються в області профілювання поведінки водіїв. Нейромережі виявилися достатньо ефективною технікою для вивчення вибірки вхідних та вихідних залежностей. У випадку прогнозування рухових маневрів з використанням нейронних мереж, вхідними даними мережі можуть бути параметри поведінки, такі як швидкість руху автомобіля, швидкість і відношення або кут рульового колеса. В той час як вихідними даними можуть бути модель, що передбачує маневр та оцінює його. Booth [16] запропонувала інтелектуальну систему, засновану на нейронній мережі, для нестійкого оцінювання поведінки водія, в якій використовувався метод зворотного поширення помилки для ідентифікації та розпізнавання маневрувань. Робота показує як різні водії виконують маневр обгону. Цей метод має високу точність, але існує потреба в багатьох зовнішніх датчиках, що призводить до збільшення витрат, крім того, автори відзначають, що експериментальні дані були зібрані на основі симулятора. Автори [17] використовували нейронну мережу для виявлення та прогнозування поведінки водія на основі алгоритму глибокої ретрансляції. Було залучено багато пристроїв для збору даних, таких як камера, GPS, шина та мікрофони для підвищення точності прогнозування. Дуже точні результати були досягнуті, але розмаїття використовуваних пристроїв призвели до збільшення часу обробки. Нейронна мережа використовується для того, щоб навчитися виконувати обгінні маневри, які були впроваджені в роботі Kraiss та колег [18], виходячи з поздовжнього та бокового положення, на яких вони визначили тип керування. Вони використовували три архітектури мереж в системі і застосовували алгоритм розповсюдження для виявлення. Mitrovic та колеги [19] побудували модель для прогнозування бічного

та поздовжнього прискорення автомобіля шляхом підготовки нейронної мережі. Помилка прогнозування була дуже низькою. Навіть незважаючи на те, що нейронні мережі є потужними механізмами навчання, основний їх недолік полягає в тому, що їх дуже важко проаналізувати, оскільки інформація, яку вони кодують, нелегко інтерпретувати. Інший недолік полягає в тому, що більшість нейромереж не в змозі обробляти часові послідовності точок даних, а лише обчислюють вихід для одного вектору даних в часі. У сфері моделювання поведінки водія, особливо для прогнозування рухових маневрів, дані, як правило, складаються з послідовностей окремих фаз і включають в себе цю актуальну інформацію.

Як вже було сказано раніше, існуючі механізми профілювання водіїв засновані на множинних вхідних даних і механізмах класифікації. Комерційні програми, такі як Greenroad [1], покладаються на дані GPS і смартфона для пошуку подій. У цьому додатку оцінка потім просто обчислюється як частота події, тобто кількість подій на одиницю відстані, які додаток підраховує. В цьому випадку всі типи подій мають однаковий пріоритет для підрахунку рейтингу і об'єднує їх глобальному лічильнику подій. Проблема цього підходу в тому, що різні події повинні мати різний вплив на кінцеву оцінку поведінки водія, тобто перевищення швидкості у місті та поза містом мають різний покажчик ризикованості. Castignani та колеги [15] представили нову платформу, засновану тільки на даних смартфона, яка використовує комбіновані дані нечіткої множини і правила виведення і видає достовірну оцінку. Вимірювальні дані з смартфона фільтруються, і події виявляються для різних показників. Потім вхідні дані згладжуються, а в механізмі нечіткого виведення застосовуються нечіткі правила. Нарешті, процес дефазифікації дозволяє отримати оцінку (від 0 до 100). Цей підхід взятий за базовий для розроблюваної нами системи.

**Основна частина.** У загальному вигляді, схема руху інформації від автомобіля, що оснащений OBD-II пристроєм до сервера кінцевої обробки даних представлена на рис. 1.

Дані з датчиків OBD-II пристрою поступають на сервер первинної обробки, де проводиться їх очищення, фільтрація та, за необхідності, стиснення, далі дані завантажуються у сховище, і обробляються різними способами в залежності від поставленої задачі, наприклад, для створення профілю водія.

***А. Дані та змінні вхідних даних***

Для розроблюваної системи вхідні дані ґрунтуються на інформації, отриманої з чотирьох сенсорів: GPS, акселерометр, магнітометр та датчик гравітації. Нижче надано опис вхідних змінних.

1) Перевищення швидкості. Швидкість є корисною метрикою, яка характеризує поведінку водія. Для того, щоб обчислити швидкість, будемо розраховувати різницю між швидкістю руху автомобіля при кожному оновленні місця та обмеженням швидкості для цього конкретного місця. Що стосується обмеження швидкості, ми можемо отримати ліміт швидкості на місце розташування за допомогою web-сервісу від Google - Roads API. Розглянемо три вхідні змінні для перевищення швидкості. По-перше, відносний час перевищення швидкості $OS_T$ – це нормалізована кількість часу, коли водій перевищує швидкість, тобто $OS_T = 0$ означає відсутність перевищення швидкості, а $OS_T = 1$ означає, що водій перевищував швидкість протягом повної тривалості поїздки. Також розглядаємо середню величину перевищення швидкості $OS_A$ та максимальну перевищення швидкості $OS_P$ для кожного водія.

2) Швидкість керування. Для того, щоб виміряти поведінку керування водіїв, розглянемо азимут, що надається GPS. Азимут вказує напрямок транспортного засобу як відносний кут (від 0 до 360º) на північ. Обчислимо швидкість руху як зміну азимута для двох послідовних оновлень GPS (у °/s). Треба зауважити, що швидкість керування також може бути кількісно визначена за допомогою внутрішнього гіроскопа та магнітометра, але в експериментах було виявлено високий рівень шуму в даних датчиках [15]. У випадку керування розглянемо три вхідні змінні для нечіткої системи. По-перше, кількість помірних і агресивних змін положення керма на кілометр, $BE_M$ і $BE_A$ відповідно. Спираючись на емпіричні висновки [15], помірні рухові події ($BE_M$) - це ті, в яких зміна азимута перевищує 10 °/s, агресивних подій ($BE_{MA}$), припускає, що зміна азимута перевищує 40 °/s. Крім того, будемо розглядати як вхід максимальний коефіцієнт зміни азимуту ($BR_P$) для кожного водія.

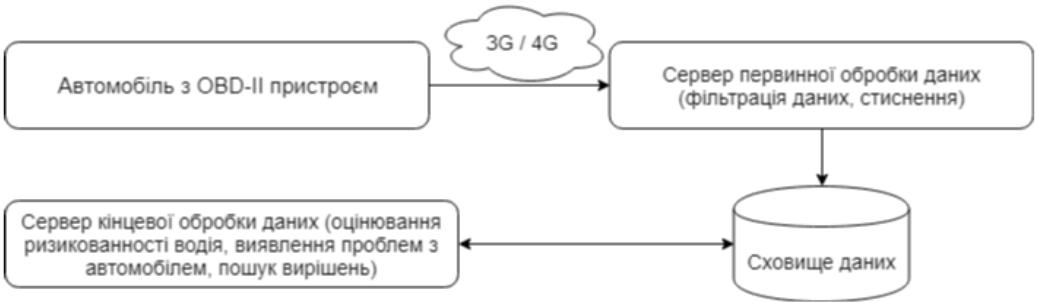



Рис. 1. Схема роботи

3) Лінійне прискорення. Для того, щоб отримати величину прискорення та гальмування в осі зсуву транспортного засобу розглянемо різницю швидкості з GPS. На відміну від акселератору, який має високу частоту дискретизації (від 10 Гц до 100 Гц), лінійне прискорення з GPS забезпечується з частотою дискретизації 1 Гц. Для класифікатора будуть розглянуті чотири вхідні змінні, засновані на лінійному прискоренні GPS, тобто швидкість зміни швидкості (в м/с$^2$) між двома зразками GPS. Перші дві змінних - це максимальне позитивне ($GA_P$) та негативне ($GA_N$) лінійне прискорення. По-друге, розглянемо кількість помірних ($GA_M$) і агресивних ($GA_A$) подій на кілометр. Помірні події лінійного прискорення - це ті, чиї абсолютні значення перевищують 1 м/с$^2$, а агресивні події - ті, значення яких перевищують 2,5 м/с$^2$ [15].

4) Повне прискорення. Визначимо повне прискорення величини вектору прискорення, виміряного з акселерометра OBD-II пристрою ($a_D$ в м/с$^2$) в системі координат системи після видалення гравітаційного компонента. *X*-компонент цього вектору вказує на праву сторону автомобіля, *Y*-компонент вказує на верхню частину автомобілю, компонент *Z* є паралельним колесам автомобілю. Для перетворення вектору прискорення в земну систему координат $a_E$, програма обчислює матрицю обертання *R* і обчислює добуток:

$$a_E = R \cdot a_D.$$

Загальне прискорення обчислюється як норма вектору прискорення $\|a_E\|$. Важливо зауважити, що якщо загальне прискорення використовується як метрика, то не має потреби перетворювати вектор розгону на іншу координатну систему. Подібно [15], в якості вхідних параметрів для класифікатора в цій роботі використані параметри $SA_M$ та $SA_A$, тобто кількість помірних та агресивних подій швидкості на кілометр відповідно. Подія помірного прискорення спрацьовує при <3м/с$^2$, а подія агресивного прискорення відбувається, при ≥3м/с$^2$. Ці значення отримані з попередніх емпіричних досліджень [11, 13] та аналізу перевірок експериментів. Треба зауважити, що в роботі [15] автори розглянули прискорення датчика, як загальну величину відстані, оскільки через шум у акселерометрі сигналу (наприклад, зміна орієнтації, маніпулювання телефоном) було важко відрізнити продольні та бічні прискорення надійним способом, але в нашому випадку положення OBD-II пристрою фіксоване, тому запропонована технологія в подальшому може бути значно покращена. Також було виявлено, що дані про прискорення з акселерометру та з GPS показують практично ту ж саму інформацію, що і в [15], тому показник повного прискорення не буде використаний у пропонованому методі оцінки поведінки водія.

***Б. Нечіткі набори***

В пропонованому підході водій характеризується набором наступних змінних:

- параметри перевищення швидкості ($OS_T$, $OS_A$, $OS_P$),
- параметри прискорення та гальмування GPS ($GA_P$, $GA_N$, $GA_A$, $GA_M$),
- характеристики прискорення датчика ($SA_M$, $SA_A$) ,
- рухові події керування ($BE_A$, $BE_M$, $BE_P$).

Ці вхідні змінні перетворюються в лінгвістичні значення, щоб полегшити визначення правил.

Нечіткі множини для вхідних змінних є трикутними і в усіх випадках містять три лінгвістичні значення: Low – низьке (*L*), Medium – середнє (*M*) та High - високе (*H*). Межі кожного набору були визначені на основі емпіричних даних та вивчення попередніх досліджень, зокрема [13].

Вихідною змінною є узагальнена оцінка поведінки водія є $S_i$. Для визначення $S_i$ в цій роботі використовується чотири категорії: Calm - спокійний (*CA*), Average - середній (*AV*), Moderate - помірний (*MO*) та Aggressive - агресивний (*AG*). Нечіткий набір вихідної змінної ілюструється на рис. 2.

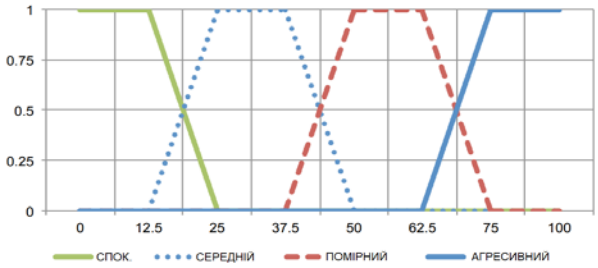



Рис. 2. Нечіткий набір вихідної змінної $S_i$

***В. Нечіткі правила та їх підрахунок***

Для отримання інтегральної характеристики $S_i$ розроблено набір нечітких правил, які поєднують різні вхідні змінні. Приклад правила для комбінацій даних про перевищення швидкості ($OS_T$, $OS_A$, $OS_P$) виглядає наступним чином:

$$OS_T = OS_A(L) = OS_P(L) = L \Rightarrow CA.$$

Таке представлення показує що водії, які мають низьку тривалість перевищення швидкості, а також низьке середнє та максимальне перевищення швидкості, є спокійними.

Помірні та агресивні події з прискоренням датчика об'єднані в 9 правил. Наприклад:

$$SA_M = SA_A(M) = M \Rightarrow MO.$$

Дані GPS-прискорення та гальмування також об'єднані в дві підмножини з 9 правил у кожній.

У першій підмножині поєднані помірні та агресивні події прискорення. У другій розглядаються всі можливі комбінації

максимального прискорення та гальмівних величин, що вимірюються в м/с$^2$. Наприклад, правило

$$GA_N = GA_P(M) = M \Rightarrow MO,$$

вказує на те, що водій, який досяг середньої величини прискорення та гальмування, класифікується як помірний. Аналогічно, правило для максимальної швидкості зміни положення керма виглядає наступним чином:

$$BE_P = M \Rightarrow AV.$$

Вихідне значення кожного правила обчислюється з відповідним ступенем приналежності. В результаті, кожне правило формує вектор категорій:

$$K = \{(k_1; \mu_1), (k_2; \mu_2), ...(k_n; \mu_n)\}$$

з відповідними ступенями приналежності $\mu_i$, де $k_i$ може приймати одне зі значень, що характеризують поведінку водія: *CA*, *AV*, *MO*, або *AG*. У тому випадку, коли декілька правил належать до однієї категорії, вибирається мінімальна ступінь серед цих правил.

Вихідне значення розраховується шляхом обчислення логічної суми кожного виходу. Наприклад, для значень (*AV*,0.5) та (*MO*,0.2) обидва виходи підсумовуються для отримання остаточного результату і в процесі дефазифікації застосовується алгоритм центра мас, який обчислює центр тяжіння області під кривою і виводить оцінку (*S*) як координату *x* цієї точки.

У запропонованому механізмі оцінки вважається, що водій має інтегральну оцінку $S_i$, що являє собою комбінацію балів, отриманих під час руху в містах ($S_C$), у приміських районах ($S_S$) та позаміських районах ($S_E$). Нарешті, коефіцієнт водія вираховується як зважена сума кожної окремої оцінки [20], тобто:

$$S_i = S_C \cdot \mu_C + S_S \cdot \mu_S + S_E \cdot \mu_E.$$

***Результати*** Для збору експериментальних даних була використана інформація отримана за допомогою прототипу пристрою компанії VehicleMind з вантажівок канадської компанії PartsAvatar [21], під час щоденних доставок товарів. На рис. 3 зображено приклад маршруту вантажівки за 19 листопада 2018 року у місті Торонто. Для експерименту використовувалися п’ять вантажівок Volkswagen Transporter T5 2014 року випуску.

Для тестових даних були розраховані параметри необхідні для профілювання поведінки водія. На рис. 4 показана підмножина вхідних змінних отриманих у ході експерименту. Порівнюючи отримані дані з даними наданими у [15] для різних водіїв в приміських середовищах, можна зробити висновок, що вхідні дані отримані з різних пристроїв у різних експериментах є дуже схожими, отже вихідні дані будуть релевантними.

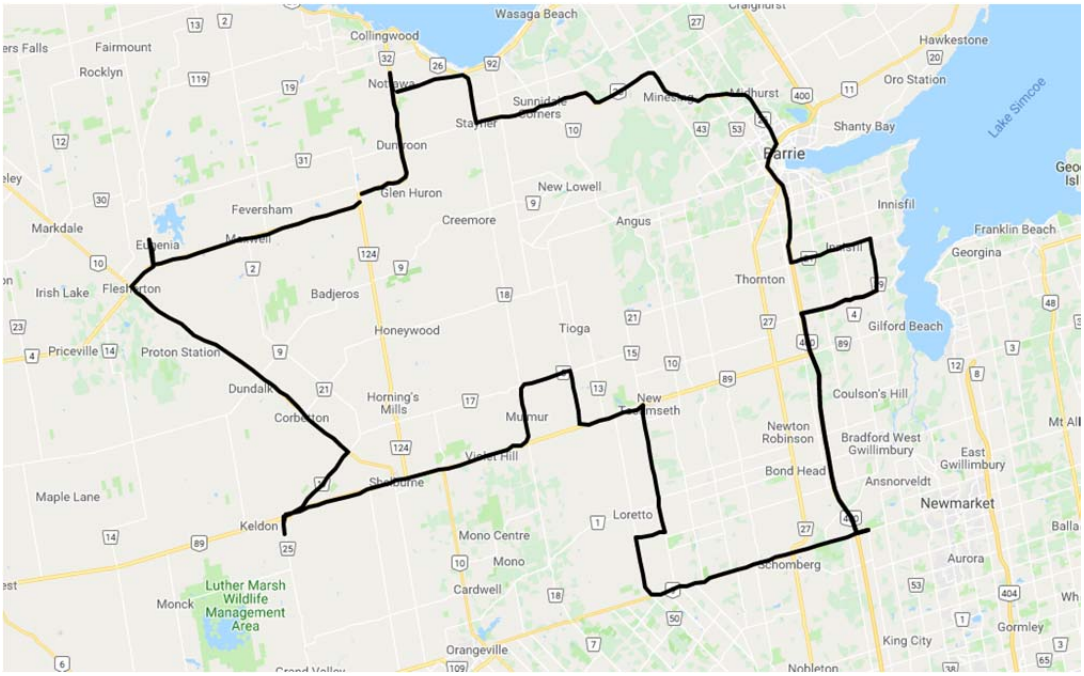



Рис. 3. Приклад маршруту вантажівки

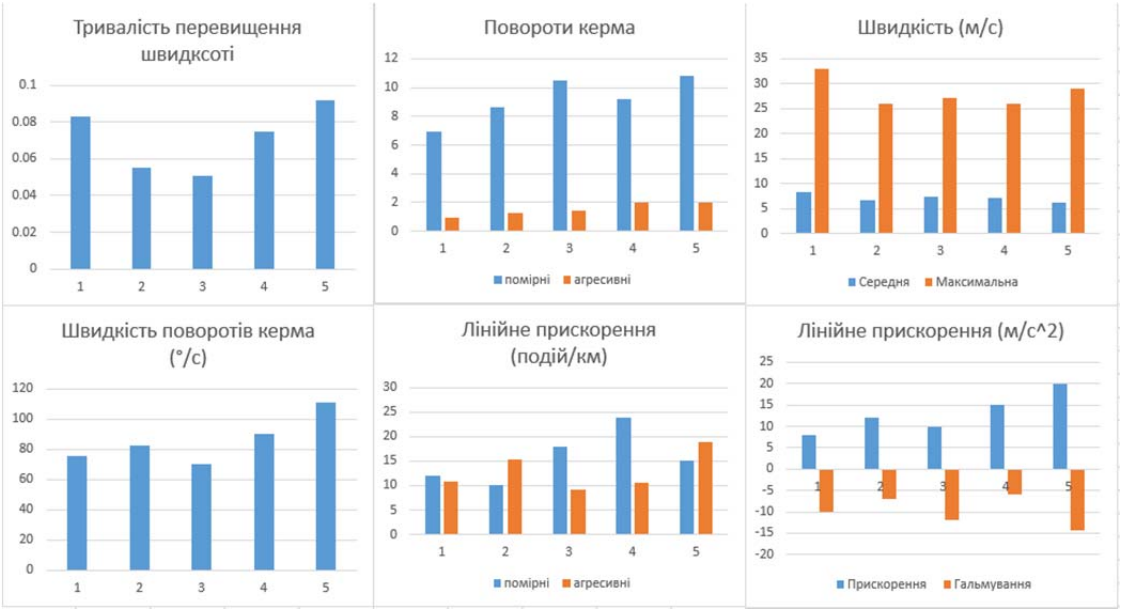



Рис. 4. Підмножина вхідних даних з поставленого експерименту

**Висновок.** У цій роботі було розглянуто методику оцінювання водіння за допомогою нечіткої логіки та можливість її використання з пристроєм, який розробляється компанією VehicleMind. Було проаналізовано та адаптовано до вимог правила нечітких систем, які поєднують в собі дані з метою надання єдиного балу для характеристики різних водіїв. Був проведених експеримент для визначення доцільності використання OBD-II пристрою та обраного методу профілювання.

Для майбутньої роботи планується провести масштабне тестування методики профілювання та вирішити проблему «шумів» в акселерометрі, задля того щоб покращити оцінку прискорення. Також планується визначити коефіцієнти, які залежать від типу транспортного засобу (легковий автомобіль, вантажівка).

**Література**


1. Greenroad. Introducing the revolutionary GreenRoad Smartphone Edition – GreenRoad [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://greenroad.com/uk /tour/smart phone.
2. Fleet Maintenance Software - The Preferred Management Software - Fleetio [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.fleetio.com.
3. Ingenie Services Limited. Car insurance for young drivers - Ingenie [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.ingenie.com.
4. Towergate. Fair Pay a radical new approach to motor insurance – Towergate [Електронний ресурс]. - Режим доступу: - http://www.fairpayinsurance.co.uk.
5. Aviva PLC. Aviva Drive – Aviva [Електронний ресурс]. - Режим доступу: - http://www.aviva.co.uk/drive.
6. State Farm Mutual Automobile Insurance Company. State Farm DriverFeedback – StateFarm [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.statefarm.ca/about/mobile.
7. On-board diagnostics - Wikipedia [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
8. Vehicle Mind - The Best Auto OBD Scanner and Tracker - VehicleMind [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.vehiclemind.com
9. Eren H. Estimating driving behavior by a smartphone / H. Eren, S. Makinist, E. Akin, A. Yilmaz. // IV IEEE Intelligent Vehicles Symposium. – 2014. – pp. 234-239.
10. Johnson D.A. Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform / D.A. Johnson, M.M. Trivedi // 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – 2014. – pp. 1609-1615.
11. J. Paefgen, F. Kehr, Y. Zhai, and F. Michahelles. Driving behavior analysis with smartphones: Insights from a controlled field study. page 1.ACM Press, 2014.
12. You C.-W. CarSafe: a driver safety app that detects dangerous driving behavior using dual-cameras on smartphones / C.-W. You, M. Montes-de Oca, T.J. Bao, N.D. Lane, H. Lu, G. Cardone,L. Torresani, A.T. Campbell // UbiComp'12, New York, NY, USA. – 2015.
13. U.D.o.T. National Highway Traffic Safety Administration. The 100-car naturalistic driving study - phase II results of the 100-car field experiment. Technical Report DOT HS 810 593, 2016.
14. Araujo R. Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns / R. Araujo, A. Igreja, R. de Castro, R. Araujo // IV IEEE Intelligent Vehicles Symposium. – 2014. – pp. 1005 –1010.
15. Castignani G. Driver Behavior Profiling using Smartphones / G. Castignani and Raphael Frank // International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems. – 2014.
16. Booth A. Using Neural Networks to Improve Behavioural Realism in Driving Simulation Scenarios / A. Booth, 2017.
17. Olabiyi, O. Driver Action Prediction Using Deep (Bidirectional) Recurrent Neural Network / O. Olabiyi, E. Martinson // California, USA. 2017.
18. Kraiss K.P. Identification and application of neural operator models in a car driving situation / K.P. Kraiss and H. Kuttelwesch // IFAC Symposia Series. – 2016. –Vol. 5.

19. Mitrovic D. Machine learning for car navigation / D. Mitrovic // International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems. – 2016. – pp. 670-675.
20. Heck K. E. Driving among urban, suburban andrural youth in california / K.E. Heck, K.C. Nathaniel // Youth Development, p. 11.
21. PartsAvatar - PartsAvatar.ca: Canada Online Auto Parts, Body Parts & Accessories - PartsAvatar [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://partsavatar.ca

**R e f e r e n c e s**

1. Greenroad. Introducing the revolutionary GreenRoad Smartphone Edition – GreenRoad Available from: http://greenroad.com/uk/tour/smartphone (12 Oct. 2018).
2. Fleet Maintenance Software - The Preferred Management Software - Fleetio Available from: https://www.fleetio.com (12 Oct. 2018).
3. Ingenie Services Limited. Car insurance for young drivers - Ingenie Available from: http://www.ingenie.com.
4. Towergate. Fair Pay a radical new approach to motor insurance – Towergate Available from: - http://www.fairpayinsurance.co.uk (22 Oct. 2018).
5. Aviva PLC. Aviva Drive Available from: - http://www.aviva.co.uk/drive (12 Oct. 2018).
6. State Farm Mutual Automobile Insurance Company. State Farm DriverFeedback – StateFarm Available from: http://www.statefarm.ca/about/mobile (03 Nov. 2018).
7. On-board diagnostics - Wikipedia Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics
8. Vehicle Mind - The Best Auto OBD Scanner and Tracker - VehicleMind Available from: http://www.vehiclemind.com (12 Oct. 2018).
9. Eren H. Estimating driving behavior by a smartphone / H. Eren, S. Makinist, E. Akin, A. Yilmaz. // IV IEEE Intelligent Vehicles Symposium. – 2014. – pp. 234-239.
10. Johnson D.A. Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform / D.A. Johnson, M.M. Trivedi // 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). – 2014. – pp. 1609-1615.
11. J. Paefgen, F. Kehr, Y. Zhai, and F. Michahelles. Driving behavior analysis with smartphones: Insights from a controlled field study. page 1.ACM Press, 2014.
12. You C.-W. CarSafe: a driver safety app that detects dangerous driving behavior using dual-cameras on smartphones / C.-W. You, M. Montes-de Oca, T.J. Bao, N.D. Lane, H. Lu, G. Cardone,L. Torresani, A.T. Campbell // UbiComp'12, New York, NY, USA. – 2015.
13. U.D.o.T. National Highway Traffic Safety Administration. The 100-car naturalistic driving study - phase II results of the 100-car field experiment. Technical Report DOT HS 810 593, 2016.
14. Araujo R. Driving coach: A smartphone application to evaluate driving efficient patterns / R. Araujo, A. Igreja, R. de Castro, R. Araujo // IV IEEE Intelligent Vehicles Symposium. – 2014. – pp. 1005-1010.
15. Castignani G. Driver Behavior Profiling using Smartphones / G. Castignani and Raphael Frank // International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems. – 2014.
16. Booth A. Using Neural Networks to Improve Behavioural Realism in Driving Simulation Scenarios / A. Booth, 2017.
17. Olabiyi, O. Driver Action Prediction Using Deep (Bidirectional) Recurrent Neural Network / O. Olabiyi, E. Martinson // California, USA. 2017.
18. Kraiss K.P. Identification and application of neural operator models in a car driving situation / K.P. Kraiss and H. Kuttelwesch // IFAC Symposia Series. – 2016. –Vol. 5.
19. Mitrovic D. Machine learning for car navigation / D. Mitrovic // International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems. – 2016. – pp. 670-675.
20. Heck K. E. Driving among urban, suburban andrural youth in california / K.E. Heck, K.C. Nathaniel // Youth Development, p. 11.
21. PartsAvatar - PartsAvatar.ca: Canada Online Auto Parts, Body Parts & Accessories - PartsAvatar Available from: https://partsavatar.ca (02 Oct. 2018).

**Думма В.О., Скарга-Бандурова І.С., Мищенко Ю.Г. Профилирование поведения водителя с использованием данных, полученных с OBD-II устройства**

*В работе проанализированы существующие методы оценки поведения водителя, выделены их возможности и ограничения. Для профилирования использованы данные, полученные из смартфонов и OBD-II устройства компании VehicleMind. Методика оценки поведения водителя основывается на принципах нечеткой логики и, благодаря дополнительному источнику входных данных, позволяет отличить продольные и боковые ускорения, выполнять более точную оценку поведения и создание профиля водителя. В предложенном механизме предполагается, что водитель характеризуется интегральной оценкой, которая представляет собой комбинацию баллов, полученных во время движения в городах, пригородных и загородных районах.*

***Ключевые слова:*** *поведение водителя, профилирование, OBD-II устройство, нечеткое правило*

**Dumma V.O., Skarga-Bandurova I.S., Mischenko Yu.G. Profiling driver behavior using data received from an OBD-II device**

*The paper analyzes the existing methods for assessing the behavior of the driver, highlight their capabilities and limitations. For profiling, the data obtained from the smartphone and OBD-II devices of the VehicleMind are used. The method of assessing driver behavior is based on the principles of fuzzy logic and due to additional source of input data, allows us to distinguish between longitudinal and lateral accelerations, as well as perform a more accurate assessment of behavior while creating a driver profile. In the proposed mechanism, it is assumed that the driver is characterized by integrated estimation, which is a combination of points obtained while driving in cities, suburban and suburban areas.*

***Keywords:*** *driver behavior, profiling, OBD-II device, fuzzy rule*

**Думма Віталій Олегович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: vetalzloy@gmail.com
**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua
**Міщенко Юрій Григорович,** ст. викл. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: mishchenko49@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Статья подана 08.11.2018

УДК 004.93’1:65.01

# КОНЦЕПЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

**Захожай О.І.**

# THE CONCEPT OF IMPROVING THE THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF SYNTHESIS INFORMATION TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED INFORMATION PROCESSING AND COMPLEX SYSTEMS CONTROLLING

**Zakhozhay O.**

*В статті запропонована концепція подальшого вдосконалення методів автоматизованої обробки інформації і управління складними системами на основі апарату розпізнавання образів, яка полягає у запровадженні екстенсіонально-інтенсіонального аналізу інформативних образів і ознак, що дозволяє підвищити достовірність і знизити часову складність прийняття управлінських рішень, а також забезпечує представлення інформації експерту в зрозумілій формі з урахуванням специфіки способу представлення знань.*

***Ключові слова:*** *екстенсіональний аналіз, інтенсіональний аналіз, системи розпізнавання образів.*

**Вступ.** Останнім часом вдосконаленню методів і засобів автоматизованої обробки інформації і управління приділяється все більше уваги. Це пов’язано, насамперед з тим, що інформаційні технології та комп’ютерні системи отримали широке поширення у різноманітних сферах людської діяльності, при чому, значна кількість об’єктів інформатизації, як правило, представляє собою складні, багатокомпонентні комплекси та системи [1, 2], для яких створення повної математичної моделі або неможливе, або пов’язане зі значними складнощами. Це негативно впливає на їхнє практичне використання для обробки інформації та прийняття управлінських рішень. У зв’язку з цим, існуюча теоретико-методологічна база направлена на створення різноманітних методів і засобів обробки інформації і управління, які, для певного, вузькоспеціалізованого застосування, дозволяють отримувати достовірний результат. Додаткові складнощі у створенні високоефективних методів і засобів автоматизованої обробки інформації і управління створює той факт, що ускладнення алгоритму обробки даних, що ставить метою підвищення достовірності прийняття управлінських рішень, призводить до одночасного збільшення його часової складності і, як наслідок – зниженню оперативності прийняття управлінських рішень. Крім цього, достатньо важливим є той факт, що ускладнення алгоритмічної бази завжди вимагає більш продуктивних апаратних платформ для їх реалізації, що значно збільшує капітальні витрати на впровадження таких систем та подальше їхнє обслуговування.

З погляду на вище сказане можна зробити висновок, що вдосконалення теорії та методології синтезу інформаційних систем автоматизованої обробки інформації і управління є актуальною науково-технічною задачею.

**Аналіз питання та постановка завдання.** Враховуючи той факт, що складна система має певний рівень стохастичності, що ускладнює її аналітичний опис, для рішення задач автоматизованої обробки інформації і управління такими системами доцільне використання інтелектуальних алгоритмів і, зокрема, алгоритмів розпізнавання образів.

На поточний момент розроблений цілий ряд методів розпізнавання образів. В літературних джерелах наводиться їхня розгорнута класифікація [1, 3-7]. Увесь спектр методів та алгоритмів розпізнавання може бути поділений на імовірнісні, логічні, структурні (синтаксичні, лінгвістичні). Однак, як показало дослідження, увесь існуючий перелік методів розпізнавання не може бути використаний в системах автоматизованої обробки інформації і управління. Різні автори (Ю.Л. Барабаш [7], В.І. Васильєв [8], А.Л. Горелик, В.А. Скрипкін [9], Р. Дуда, П. Харт [10], Л.Т. Кузін [11], Ф.І. Перегудов, Ф.П. Тарасенко [12], Ф.Е. Темников [13], Дж. Ту, Р. Гонсалес [14], П. Уинстон [15], К. Фу [4], Я.З. Ципкін [16] та ін.) дають різну

класифікацію методів розпізнавання образів. Одні автори розрізняють параметричні, непараметричні і евристичні методи, інші – виділяють групи методів, виходячи з історично сформованих шкіл і напрямів в даній області. Наприклад, в роботі [17], в якій зроблений достатньо повний огляд методів розпізнавання, використовується наступна їхня типологія:

– методи, засновані на принципі поділу;

– статистичні методи;

– методи, побудовані на основі "потенційних функцій";

– методи обчислення оцінок (голосування);

– методи, засновані на численні висловів, зокрема апарату алгебри логіки.

У основі цієї класифікації лежить відмінність у формальних методах розпізнавання образів і тому опущений розгляд евристичного підходу до розпізнавання, що отримав повний і адекватний розвиток в експертних системах. Евристичний підхід заснований на знаннях, що важко формалізуються, і інтуїції експерта. При цьому, експерт сам визначає, яку інформацію і яким чином система повинна використовувати для досягнення необхідного ефекту розпізнавання.

Крім цього, для більшості методів їх програмна реалізація відсутня. Отже, залишається недостатньо розробленим питання про практичну застосовність тих або інших теоретичних методів розпізнавання для вирішення практичних завдань в складних, багатопараметричних системах автоматизованої обробки інформації зі значною розмірністю даних. При чому, реалізація цих алгоритмів повинна характеризуватися часовою складністю, що прийнятна для сучасних комп'ютерних систем. До того ж, більшість цих методів направлені на вирішення вузько-спеціалізованих задач розпізнавання, що не дозволяє використовувати їх для універсальних гнучких інформаційних систем автоматизованої обробки інформації і управління.

Наведена вище класифікація методів розпізнавання достатньо вдало відбиває підходи щодо метрологічної бази систем автоматизованої обробки інформації і управління на основі апарату розпізнавання образів. Однак, враховуючи той факт, що вирішення задач обробки інформації і управління вимагає прийняття рішення та його представлення експерту в зрозумілій формі, така типологія не враховує одну дуже істотну характеристику, яка відбиває специфіку способу представлення знань про предметну область за допомогою якого-небудь формального алгоритму розпізнавання образів.

Таким чином, основна задача, що підлягає вирішенню, полягає у визначенні концепції подальшого вдосконалення методів автоматизованої обробки інформації і управління складними системами на основі апарату розпізнавання образів, використання яких дозволить підвищити достовірність і знизити часову складність прийняття управлінських рішень, а також забезпечить представлення інформації експерту в зрозумілій формі з урахуванням специфіки способу представлення знань.

**Вирішення задачі.** Для вирішення поставленої задачі пропонується використання концепції, яку запропонував Д.О. Поспєлов [18], сутністю якої є класифікація методів за способом представлення знань при розпізнаванні. За таким принципом методи розпізнавання поділяються на інтенсіональні та екстенсіональні.

Інтенсіональне представлення пов‘язане з формуванням закономірності і зв'язків, якими пояснюється структура даних. Стосовно діагностичних завдань, така фіксація полягає у визначенні операцій над атрибутами (ознаками) об'єктів, що призводять до необхідного діагностичного результату. Інтенсіональне представлення реалізується за допомогою операцій над значеннями атрибутів і не припускає операцій над конкретними інформаційними фактами (об'єктами).

У свою чергу, екстенсіональне представлення знань пов'язане з описом і фіксацією конкретних об'єктів з предметної області і реалізуються в операціях, елементами яких служать об'єкти як цілісні системи.

Інтенсіональний спосіб припускає представлення знань у вигляді схеми зв'язків між атрибутами (ознаками) об‘єктів розпізнавання, а екстенсіональний – за допомогою конкретних фактів (об'єктів).

Для ефективного вирішення задачі автоматизованої обробки інформації і управління (у тому числі складними системами) в групі інтенсіональних методів практичну цінність представляють параметричні методи і методи, засновані на пропозиціях про вид вирішальних функцій. На сьогодень, параметричні методи складають основу традиційної методології конструювання систем розпізнавання. Однак, застосування цих методів в реальних задачах пов'язане з накладенням значних обмежень на структуру даних, які призводять до лінійних діагностичних моделей з дуже приблизними оцінками їх параметрів. У випадку оперування зі складним об‘єктом розпізнавання, якому притаманний високий рівень невизначеності та стохастизму, такий підхід пов‘язаний зі значними складнощами реалізації і не є раціональним. При використанні методів, заснованих на припущеннях про вид вирішальних функцій, також існує необхідність звернення до лінійних моделей. Це обумовлено високою розмірністю простору ознак, характерною для реальних багатокритеріальних та багатопараметричних завдань, яка при підвищенні міри поліноміальної вирішальної функції призводить до величезного зростання числа її членів при проблематичному супутньому підвищенні якості розпізнавання. Таким чином, в сфері

потенційного застосування інтенсіональних методів розпізнавання для багатопараметричних складних систем, мається тенденція до зведення до добре відпрацьованої традиційної методології лінійних діагностичних моделей.

Властивості лінійних діагностичних моделей, в яких діагностичний показник представлений зваженою сумою початкових ознак, добре вивчені. Результати цих моделей (при відповідному нормуванні) інтерпретуються як відстані від досліджуваних об'єктів до деякої гіперплощини в просторі ознак або (що еквівалентно) як проекції об'єктів на деяку пряму лінію в цьому просторі. Тому лінійні моделі адекватні тільки простим геометричним конфігураціям областей простору ознак, в які відображаються об'єкти різних класів. У випадку складніших розподілів, ці моделі принципово не можуть відбивати багато особливостей структури інформаційного поля ознак складних об‘єктів розпізнавання. В цьому випадку не може забезпечуватися висока достовірність розпізнавання та формування управлінських рішень при одночасному зменшенні часової складності аналізу інформативних ознак об‘єкту розпізнавання.

В той же час поява в якому-небудь реальному завданні простих багатовимірних структур (зокрема, багатовимірних нормальних розподілів) створює умови для локального використання лінійних моделей. Але така ситуація є скоріше приватним випадком, ніж закономірністю, так як досить часто класи розпізнавання формуються на основі складених зовнішніх критеріїв, що автоматично спричиняє за собою геометричну неоднорідність цих класів в просторі ознак. В таких умовах застосування лінійних моделей тільки досить приблизно описує закономірності, що проявляються в результаті аналізу експериментальної інформації про об‘єкт розпізнавання.

З іншого боку, застосування екстенсіональних методів, фактично, не пов'язане з будь-якими припущеннями про структуру експериментальної інформації про об‘єкт розпізнавання, крім того, що усередині класів розпізнавання повинні існувати одна або декілька груп чимось схожих об'єктів, а об'єкти різних класів повинні чимось відрізнятися один від одного. Очевидно, що при будь-якій кінцевій розмірності навчальної вибірки, ця вимога виконується завжди просто з тієї причини, що існують випадкові відмінності між об'єктами, які фіксуються та є базовими фактами, що дозволяють віднести об‘єкти розпізнавання до різних класів. Успішне рішення таких задач дає результат, що наближається до теоретично досяжних меж достовірності розпізнавання.

Незважаючи на вказані вище переваги екстенсіональних методів розпізнавання образів, їх недолік, в першу чергу, пов‘язаний з високою технічною складністю їх практичного втілення. Для складних, багатокомпонентних просторів ознак зовні просте завдання знаходження пар об‘єктів, що мають мінімальні розбіжності перетворюється на значну проблему, що призводить до значних втрат машинного часу та знижує оперативність прийняття управлінських рішень, що не є припустимим для систем управління. Крім цього, існує необхідність запам'ятовування досить великої кількості об'єктів, що представляють класи розпізнавання. В результаті, наприклад у методі *k*-найближчих сусідів, при розпізнаванні кожного об'єкту повинен відбуватися повний перебір усіх об'єктів навчальної вибірки, що різко збільшує часову складність аналізу даних і прийняття рішень.

З погляду на вище згадане, можна зробити висновок, що для складних, багатопараметричних систем доцільне застосування такої моделі системи розпізнавання, в якій проблема повного перебору об'єктів навчальної вибірки при розпізнаванні знімається, оскільки він здійснюється лише один раз при формуванні узагальнених образів класів розпізнавання. При самому ж розпізнаванні повинне здійснюватися порівняння об'єкту розпізнавання лише з узагальненими образами класів розпізнавання. Такий підхід дозволить збільшувати розмірність навчальної вибірки до тих пір, доки не буде досягнута необхідна якість узагальнених образів. В цьому випадку, збільшення часу розпізнавання буде здійснюватися тільки до моменту досягнення наперед заданої, раціональної достовірності класифікації.

Теоретичні проблеми застосування екстенсіональних методів розпізнавання пов'язані з проблемами пошуку інформативних ознак, а також знаходження раціональних метрик для аналізу схожості та розбіжності об'єктів. В той же час успішне рішення перерахованих проблем дозволяє не лише конструювати ефективні алгоритми розпізнавання, але і здійснювати перехід від екстенсіонального знання емпіричних фактів до інтенсіонального знання про закономірності їх структури та навпаки (у випадку прямої та зворотної задачі розпізнавання).

Перехід від екстенсіонального знання до інтенсіонального доцільно здійснювати або у випадку малої кількості інформативних ознак об‘єкту розпізнавання, або на тій стадії, коли формальний алгоритм розпізнавання вже сконструйований і його ефективність підтверджена на навчальній виборці. Тоді робиться вивчення механізмів, за рахунок яких досягається отримана ефективність. Таке вивчення, пов'язане з аналізом геометричної структури даних, може, наприклад, привести до висновку про те, що досить замінити об'єкти, що представляють той або інший клас розпізнавання, одним типовим представником (прототипом). Це еквівалентно, як відзначалося вище, завданню традиційної лінійної діагностичної шкали. Також можливо, що кожен клас розпізнавання досить замінити декількома об'єктами, які сприймаються як типові представники деяких підкласів, що еквівалентно побудові сукупності лінійних шкал.

В зв'язку з цим особливо актуальним видається завдання реалізації в системах розпізнавання

механізму узагальнення описів об'єктів, що відносяться до одного класу, тобто механізму формування компактних узагальнених образів. Це дозволить також поставити і вирішити ряд завдань, які навіть не можуть бути сформульовані в таких методах розпізнавання, як метод порівняння з прототипом, метод *k*-найближчих сусідів або алгоритмі обчислення оцінок.

Оперування з узагальненими образами вимагає вирішення наступної послідовності завдань:

– визначення інформаційного вкладу ознак до інформаційного опису узагальненого образу;

– кластерно-конструктивний аналіз узагальнених образів;

– визначення семантичного навантаження ознак;

– семантичний кластерно-конструктивний аналіз ознак;

– змістовне порівняння узагальнених образів класів один з одним і ознак однієї з іншою (за допомогою, наприклад, когнітивних діаграм.

Вирішення наведеної послідовності завдань дозволить сформулювати таку методологічну основу синтезу систем автоматизованої обробки інформації і управління складними системами, при якій завдяки формуванню узагальнених образів буде досягатися незалежність часу розпізнавання від об'ємів навчальної вибірки. Відомо, що саме існування цієї залежності призводить до практично неприйнятних витрат машинного часу на розпізнавання в таких методах, як метод *k*-найближчих сусідів, алгоритмиі обчислення оцінок і колективів вирішальних правил.

Відповідно до вищезгаданого, можна зробити висновок, що використання як інтенсіонального, так і екстенсіонального підходів дозволяє, за окремих умов, отримати переваги у розпізнаванні. При чому, в окремих випадках, такі переваги дають або інтенсіональні методи, або екстенсіональні. А у окремих випадках, вони спроможні доповнювати друг друга для прийняття більш достовірного результату класифікації.

Таким чином, в якості концепції подальшого вдосконалення теоретико-методологічних основ синтезу інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації і управління складними системами пропонується використання екстенсіонально-інтенсіонального підходу [19], який базується на сумісному використанні як інтенсіональних, так і екстенсіональних методів. Це дозволить значно збільшити кількість прецедентів за якими здійснюється класифікація та забезпечити більшу достовірність розпізнавання.

З іншого боку, збільшення кількості прецедентів, порівняння з якими інформаційних ознак об‘єкту розпізнавання дозволяє здійснити класифікацію, призводить до збільшення часової складності процесу розпізнавання, що є значним негативним аспектом вдосконалення систем автоматизованої обробки інформації і управління. Рішення цієї проблеми можливо через використання методів зменшення розмірності інформаційного поля аналізу даних, що спрощує реалізацію як інтенсіональних так і екстенсіональних методів, зменшує часову складність процесу розпізнавання та підвищує оперативність формування управлінських рішень в системах автоматизованої обробки інформації і управління. Такі методи запропоновані у [20].

Екстенсіонально-інтенсіональний підхід до побудови методів автоматизованої обробки інформації і управління складними системами проілюстрований на рис.

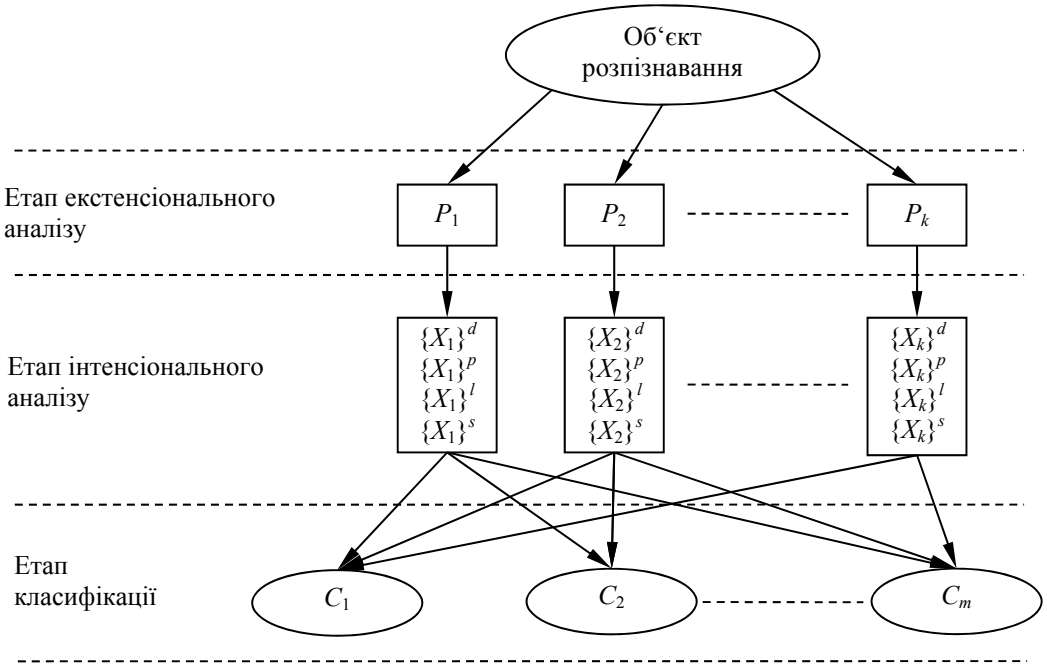



Рис. Екстенсіонально-інтенсіональний підхід до автоматизованої обробки інформації і управління складними системами

Реалізація екстенсіонально-інтенсіонального підходу створює сприятливі умови щодо повномірного використання у складі однієї системи розпізнавання різноманітних варіантів опису ознак об‘єктів розпізнавання: детерміновані, імовірнісні, логічні та структурні. В цьому випадку, формується необхідна теоретико-методологічна база побудови гнучких, адаптивних, багатопараметричних систем автоматизованої обробки інформації і управління.

Слід також відзначити, що використання екстенціонально-інтенсіонального підходу доцільно в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання [21], де об’єкти інформатизації представляються сукупністю образів, ознаки яких мають різну природу виникнення. В цьому випадку, отримується більша кількість можливих стратегій обробки інформації для прийняття управлінських рішень, що сприяє підвищенню рівня універсальності, гнучкості та адаптивності.

Згідно рис., складний об‘єкт інформатизації представляється сукупністю $k$ образів, кожен з яких дозволяє здійснити розподіл до одного з наперед визначених класів $C_1$-$C_m$. При цьому, у випадку достовірної класифікації, кожен з $k$ образів повинен забезпечувати віднесення об‘єкту розпізнавання до одного й того ж самого класу з множини $\{C\}$, так як апріорно відомо, що у багатопараметричній комбінованій системі розпізнавання кожен образ з множини {P} представляє один і той самий об‘єкт розпізнавання [22].

Для забезпечення мінімізації часу прийняття управлінських рішень, при екстенсіонально-інтенсіональному аналізі даних, спочатку, здійснюється етап екстенсіонального аналізу, при якому виконується спроба класифікації об‘єкта розпізнавання за узагальненими описами образів. У зв'язку з цим, особливо актуальним в системах розпізнавання стає завдання реалізації механізму узагальнення описів об'єктів, що відносяться до одного класу, тобто механізму формування компактних узагальнених образів. Для цього доцільне використання методу селекції образів та прийняття рішення щодо класифікації [21] в якому здійснюється пошук та аналіз груп образів з ідентичною класифікацією.

При цьому слід враховувати, що достовірність представлення об‘єкту розпізнавання за кожним з $k$ образів буде змінюватися у випадку зміни умов спостереження, що має місце на практиці, особливо у складних системах. Таким чином, у кожному окремому випадку, інформативність кожного образу з множини $\{P\}$ буде різною. Для отримання достовірного результату розпізнавання за мінімальний час, необхідне здійснення селекції інформативних образів. З цією метою може бути використана методика [20] яка дозволяє зменшити розмірність інформаційного поля аналізу через усунення найменш інформативних даних. Надалі, класифікація може бути визначена на основі статистики, що отримується шляхом голосування: належність об‘єкту до класу $C_i$ визнається достовірною, якщо ця класифікація підтверджується більшістю образів з множини $k$.

Якщо екстенсіональний аналіз не дозволяє отримати достовірну класифікацію, на наступному етапі здійснюється інтенсіональний аналіз. Крім цього, перехід від екстенсіонального знання до інтенсіонального доцільно здійснювати або у випадку малої кількості інформативних ознак об‘єкту розпізнавання, або на тій стадії, коли формальний алгоритм розпізнавання вже сконструйований і його ефективність підтверджена на навчальній виборці. З метою зменшення інформаційного полю аналізу, та зниження часової складності прийняття рішення щодо класифікації, безпосередньо перед розпізнаванням, необхідно здійснити селекцію інформативних ознак образів об‘єкта розпізнавання [20]. При цьому слід зазначити, що ця задача вже частково вирішується на попередньому етапі екстенсіонального аналізу. Виключення з аналізу неінформативних обрізів об‘єкта розпізнавання фактично призводить до усунення відповідної сукупності інформаційних ознак. При цьому, одразу виключається певна група менш інформативних ознак і перевірка інформативності окремих ознак в цих групах непотрібна. Подальша класифікація може бути здійснена будь яким з методів, наприклад методом $k$-найближчих сусідів, алгоритмом обчислення оцінок або колективами вирішальних правил.

Слід зазначити, що використання екстенсіонально-інтенсіонального підходу не вимагає проведення повного аналізу інформативних ознак за кожним з $k$ образів об‘єкту розпізнавання. Такий аналіз може здійснюватися лише до моменту, коли за одним або декількома образами з множини $\{P\}$ буде отримана класифікація, рівень достовірності якої досягає апріорно заданого значення.

Для збільшення кількості інформативних показників за якими приймається рішення щодо класифікації, на етапі інтенсіонального аналізу пропонується використання розподілу, який був отриманий на етапі екстенсіонального аналізу. В цьому випадку, інтенсіональний аналіз буде нібито «уточнювати» результати класифікації за узагальненими описами об‘єктів розпізнавання.

Слід зазначити, що запропонований екстенсіонально-інтенсіональний підхід не виключає можливості використання тільки екстенсіональних або інтенсіональних методів розпізнавання. Логічна структура, проілюстрована на рис. 1, може бути трансформована шляхом виключення етапів або екстенсіонального, або інтенсіонального аналізу. Таким чином, використання екстенсіонально-інтенсіонального підходу дозволяє не лише конструювати ефективні методи і алгоритми розпізнавання, але і здійснювати перехід від екстенсіонального знання емпіричних фактів до інтенсіонального знання про закономірності їхньої структури та навпаки. Використання як інтенсіонального, так і екстенсіонального підходу дозволяє, за окремих

умов, отримати переваги у розпізнаванні. При чому, в окремих випадках, більшу достовірність та меншу часову складність можуть забезпечувати або інтенсіональні методи, або екстенсіональні, а в окремих випадках, вони спроможні доповнювати друг друга для прийняття більш достовірного результату класифікації за менший час. Така гнучкість особливо корисна при синтезі інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації і управління, де одночасно вирішується як прямі так і зворотні задачі розпізнавання.

Реалізація екстенсіонально-інтенсіонального підходу для синтезу інформаційних технологій автоматизованої обробки інформації і управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання образів створює сприятливі умови щодо повномірного використання у складі однієї системи розпізнавання різноманітних варіантів опису ознак об‘єктів розпізнавання: детерміновані, вірогідніснi, логічні та структурні. В цьому випадку, формується необхідна теоретико-методологічна база побудови гнучких, адаптивних, багатопараметричних систем автоматизованої обробки інформації і управління.

**Висновки.** Основні результати представлені в статті полягають в наступному.

1. Запропонована концепція подальшого вдосконалення методів автоматизованої обробки інформації і управління складними системами на основі апарату розпізнавання образів, яка полягає у запровадженні екстенсіонально-інтенсіонального аналізу інформативних образів і ознак, що дозволяє підвищити достовірність і знизити часову складність прийняття управлінських рішень, а також забезпечує представлення інформації експерту в зрозумілій формі з урахуванням специфіки способу представлення знань.

2. Синтез систем автоматизованої обробки інформації і управління на базі багатопараметричних комбінованих систем розпізнавання та з використанням екстенсіонально-інтенсіонального підходу забезпечує більшу кількість можливих стратегій обробки інформації для прийняття управлінських рішень, що сприяє підвищенню рівня універсальності, гнучкості та адаптивності.

3. Ефективність запропонованої концепції була підтверджена шляхом впровадження при синтезі трьох систем автоматизованої обробки інформації і управління: системи контролю температурного режиму коксових печей, системи ультразвукового вимірювання лінійних відстаней, системи перевірки унікальності текстових даних. Для системи контролю температурного режиму статистична характеристика подібності була отримана на рівні 96,3%, що задовольняє існуючим нормам. В системі ультразвукового вимірювання статистична достовірність визначення лінійних відстаней збільшилася на 14%, а в системі перевірки унікальності текстових даних статистична достовірність результату аналізу збільшилася на 23,4%, а часова складність зменшилася на 7,2%.

4. В контексті подальшого напрямку досліджень доцільним є розробка та дослідження нових методів автоматизованої обробки інформації і управління на основі розглянутої методології для різноманітних прикладних застосувань.

**Література**


1. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов: Монография (научное издание) / В.С. Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
2. Захожай О.І. Інформаційна технологія розпізнавання образів в задачах автоматизованої обробки інформації й управління складними системами / О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій». – Херсон: ХНТУ, 2013. – № 01 (013). – С. 61-68.
3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.
4. Фу К. Структурные методы в распознавании образов: Пер.с англ. / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
5. Журавлев Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. / Ю.И. Журавлев, В.В. Рязанов, О.В. Сенько. – М: Фазис, 2005. – 159 с.
6. Кочетков Д.В. Распознающие алгоритмы, инвариантные относительно преобразований пространства признаков / Д.В. Кочетков // Распознавание, классификация, прогноз: Мат. методы и их применение. – М.: Наука, 1989. – Вып. 11. – С. 178-206.
7. Барабаш Ю.Л. Коллективные статистические решения при распознавании / Ю.Л. Барабаш. – М.: Радио и связь, 1983. – 224 с.
8. Васильев В.И. Распознающие системы: Справочник / В.И. Васильев. – К.: Наукова думка, 1983. – 230 с.
9. Горелик А.Л. Методы распознавания. Изд. 2. / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1984. – 219 с.
10. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт. – М.: Мир, 1978. – 510 с.
11. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: Основы кибернетических моделей. Т.2. / Л.Т. Кузин. – М.: Энергия, 1979. – 584 с.
12. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
13. Темников Ф.Е. Теоретические основы информационной техники. / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин, В.И. Дмитриев. – М.: Энергия, 1979. – 511 с.
14. Ту Дж. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. / Дж. Ту, Р. Гонсалез. – М.: Мир, 1978. – 410 с.
15. Уинстон П. Искусственный интеллект: Пер. с англ. / П. Уинстон – М.: Мир, 1980. – 520 с.
16. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1984. – 520 с.
17. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика. / В.А. Дюк. – СПб: Братство, 1994. – 365 с.
18. Поспелов Д.А. Моделирование человеческих рассуждений в интеллектуальных системах: Лекции Всесоюзной школы по основным проблемам искусственного интеллекта и интеллектуальным системам. Ч. 1. / Д.А. Поспелов. – Тверь: Центр программных систем, 1990.

19. Захожай О.І. Спосіб розпізнавання образів / О.І. Захожай, О.С. Меняйленко, П.І. Бідюк // Патент на корисну модель № 100078 МПК (2015.01) G06K 9/00; опубл. 10.07.2015, бюл. №13.
20. Захожай О.І. Селекція раціональної сукупності образів в комбінованих системах розпізнавання / О.І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2013. – № 09(85). – С. 186-192.
21. Захожай О.І. Критерії визначення інформативності та ранжування образів при прийнятті рішень в багатопараметричних комбінованих системах розпізнавання / О.І. Захожай // Електротехнічні та комп'ютерні системи, 2018. – № 27(103). – С. 196-204.
22. Рябенький В.М. Комбіновані системи розпізнавання образів / В.М. Рябенький, О.І. Захожай // Журнал «Проблеми інформаційних технологій», 2011. – С. 156-160.

**R e f e r e n c e s**

1. Simankov V. S. Adoptive controlling of complex systems on theory of patterns recognition: Monography (scientific publication) / V.S. Simankov, E.V. Lutsenko. – Krasnodar: Techn. Univ. Kuban State Technol. univ, 1999. – 318 p.
2. Zakhozhay O.I. Information technology of patterns recognition in tasks of automated information processing and complex systems controlling / O.I. Zakhozhay // Journal «Problems of information technologies». – Kherson: KhNTU, 2013. – № 01 (013). – P. 61-68.
3. Zagoruyko N.G. Applied methods of data and knowledge analysis / N.G. Zagoruyko. – Novosibirsk: Publ. Inst. of mathematics, 1999. – 270 p.
4. Fu K. Structure methods in patterns recognition: Trans. from eng. / K. Fu. – M.: Mir, 1977. – 320 p.
5. Zhuravlyov Yu.I. Recognition. Mathematical methods. Program system. Practical using. / Yu.I. Zhuravlyov, V.V. Рязанов, O.V. Senko. – M: Phasis, 2005. – 159 p.
6. Kochetkov D.V. Recognition algorithms that invariantly relatively signs space transformation / D.V. Kochetkov // Recognition, classification, forecast: Math. methods and their using. – M.: Nauka, 1989. – Ed. 11. – P. 178-206.
7. Barabash Yu.L. Collective statistic solving in time recognition / Yu.L. Barabash. – M.: Radio i svyaz, 1983. – 224 p.
8. Vasilev V.I. Recognition systems: Directory / V.I. Vasilev. – K.: Naukova dumka, 1983. – 230 p.
9. Gorelik A.L. Recognition methods. Ed. 2. / A.L. Gorelik, V.A. Skripkin. – M.: Vyshaya shkola, 1984. – 219 p.
10. Duda R. Patterns recognition and scene analysis: Trans. from eng. / R. Duda, P. Hart. – M.: Mir, 1978. – 510 p.
11. Kuzin L.T. Basics of cybernetics: Basics of cybernetical models. B.2. / L.T. Kuzin. – M.: Energiya, 1979. – 584 p.
12. Peregudov F.I. Introduce to system analysis. / F.I. Peregudov, F.P. Tarasenko. – M.: Vyshaya shkola, 1989. – 367 p.
13. Temnikov F.E. Theoretical basics of informational technics. / F.E. Temnikov, V.A. Afonin, V.I. Dmitriev. – M.: Energiya, 1979. – 511 p.
14. Tu J. Principe of patterns recognition: Trans. from eng. / J. Tu, R. Gonsalez. – M.: Mir, 1978. – 410 p.
15. Winston P. Artificial intelligence: Trans. from eng. / P. Winston – M.: Mir, 1980. – 520 p.
16. Tsypkin Ya.Z. Base of information technology of identification. / Ya.Z. Tsypkin. – M.: Nauka, 1984. –520 p.
17. Dyuk V.A. Computer psychodiagnostic / V.A. Dyuk. – SPb: Bratstvo, 1994. – 365 p.
18. Pospelov D.A. Modelling of human reasoning in intellectual systems: Lectures All-union school in basic problems of artificial intelligence and intellectual systems. Part. 1. / D.A. Pospelov. – Tver: Center program systems, 1990.
19. Zakhozhay O.I. Method of patterns recognition/ O.I. Zakhozhay, O.S. Menyaylenko, P.S. Bidyuk // Patient of Ukraine 100078 IPC (2015.01) G06K 9/00; publ. 10.07.2015, bull. 13.
20. Zakhozhay O.I. The rational aggregate selection of informative patterns in the combined recognition systems / O.I. Zakhozhay // Electrotechnical and computer systems, 2013. – 09(85). – P. 186-192.
21. Zakhozhay O.I. Criteria for the determination of informativity and patterns ranking for making decisions in multi-parametric combined recognition systems / O.I. Zakhozhay // Electrotechnical and computer systems, 2018. – 27(103). – P. 196-204.
22. Ryabenkiy V.M. Combined systems of patterns recognition / V.M. Ryabenkiy, O.I. Zakhozhay // Journal «Problems of information technologies», 2011. – P. 156-160.

**Захожай О.И. Концепция усовершенствования теоретико-методологических основ синтеза информационных технологий автоматизированной обработки информации и управления сложными системами.**

*В статье предложена концепция дальнейшего усовершенствования методов автоматизированной обработки информации и управления сложными системами на основе аппарата распознавания образов, которая заключается во внедрении экстенсионально-интенсионального анализа информативных образов и признаков, что позволяет повысить достоверность и снизить временную сложность принятия управленческих решений, а также обеспечивает представление информации эксперту в понятной форме с учетом специфики способа представления знаний.*

***Ключові слова:*** *экстенсиональный анализ, интенсиональный анализ, системы распознавания образов.*

**Zakhozhay O. The concept of improving the theoretical and methodological foundations of synthesis information technologies for automated information processing and complex systems controlling.**

*The article proposes the concept of further improving the methods of automated information processing and management of complex systems based on the pattern recognition apparatus, which is to introduce the extensional-intentional analysis of informative images and signs. This allows to increase the reliability and reduce the time complexity of making management decisions, and also ensures that the information is presented to the expert in an understandable form with accounting the specifics of the forms knowledge presenting.*

***Keywords:*** *extensional analysis, intentional analysis, systems of patterns recognition.*

**Захожай О.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля,
e-mail: zakhozhay.oleg@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Марченко Д.М.***

Стаття подана 25.10.2018

УДК 004.3

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРТОРІВ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬВАНІЧНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ

**Кардашук В.С., Бойчук А.М.**

# EXPERIMENTAL STUDIES OF GALVANIC ISOLATION POWER SUPPLY CONVERTERS

**Kardashuk V. S., Boichuk A. M.**

*В статті запропоновані методи збільшення надійності роботи конверторів напруги фірми Maxim з метою їх застосування у вузлах гальванічної розв'язки інтерфейсу RS-485. Використання повздовжніх трансформаторів дозволить зменшити час переключення вихідних транзисторів конвертора та підвищить надійність передачі даних при проектуванні вузлів гальванічної розв'язки на дискретних елементах.*

***Ключові слова:*** *конвертор, перешкода, гальванічна розв'язка, інтерфейс.*

**Вступ.** В системах автоматизованого керування технологічними процесами інтерфейс RS-485 всебічно використовується в програмно-логічних контролерах нижнього рівня. Застосування його у мережах Profibus і Modbus обумовлено перш за все простотою реалізації та відсутністю вимого щодо конструкторського виконання. фізичним стандартом передачі інформації на нижньому рівні. Переважна більшість технічних рішень щодо фізичної реалізації блоків інтерфейсу RS-485 використовує гальванічну розв'язку вихідної частини, як елемент боротьби з перешкодами [1]. Такі технічні рішення застосовуються у виробах таких фірм як Maxim, Advantech та ін. Для зменшення впливу перешкод з лінії зв'язку вихідну частину блоку виконують на дискретних елементах, що потребують живлення. Технічна реалізація такої розв'язки передбачає живлення вихідних елементів від роботи яких залежить надійна передача інформації мережі інтерфейсу RS-485.

**Постановка проблеми.** Перешкоди, що виникають у вихідних каскадах інтерфейсу RS-485 впливають на роботу передавачів/приймачів (драйверів) комунікаційної частини блоків. При цьому знижуються якість передачі інформації по інтерфейсу RS-485. Від стабільності джерела живлення гальванічно-розв'язаної частини таких блоків залежить стабільна робота передавачів/приймачів інтерфейсу RS-485. Під час роботи конверторів напруги виникають перешкоди загального вигляду. Необхідно дослідити конвертори напруги Maxim MAX253 та запропонувати ефективні методи зменшення впливу перешкод, що впливають на драйвери та елементи гальванічної розв'язки.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Надійна передача інформації в таких мережах залежить не тільки від вибору мікросхеми, що забезпечує фізичну реалізацію інтерфейсу RS-485 відповідно до вимог замовника, а й від якості сполучних проводів в системі передачі даних [2]. Розробникам мереж на базі інтерфейсу RS-485 доводиться стикатися з проблемами реалізації надійної передачі інформації в таких мережах. Дослідження та рекомендації, що відображені в [3], дозволили значно підвищити надійність живлення дискретних елементів вузла гальванічної розв'язки. Драйвери вихідних забезпечують надійну передачу даних в присутності навантаження на лінію передачі, а диференційні входи їх приймачів можуть пригнічувати значні синфазні напруги [4].

**Мета статті.** Дослідження конвертора MAX253 [5] та розроблення рекомендацій, щодо його застосування для живлення дискретних елементів гальванічної розв'язки вихідного каскаду та драйверів інтерфейсу RS-485.

**Результати досліджень.** Для проведення дослідження використано конвертор MAX253 фірми Maxim. Типова схема включення конвертора представлена на рис. 1.

Характеристики даного конвертора повністю відповідають вимогам щодо реалізації живлення вихідних елементів комунікаційної частини та драйверів інтерфейсу в частині вихідної напруги та струму споживання:

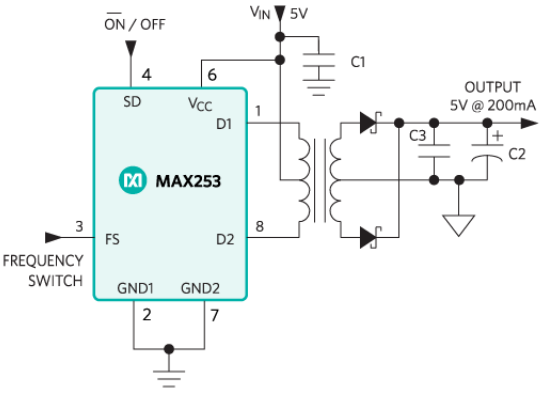



Рис. 1. Схема підключення конвертора MAX253

З метою аналізу діапазону вихідних параметрів конвертора та впливу перешкод на його роботу розглянута внутрішня принципова схема конвертора.

Для дослідження вихідних характеристик конвертора та перешкод, що впливають на його роботу обрана схема, що представлена на рис. 2.

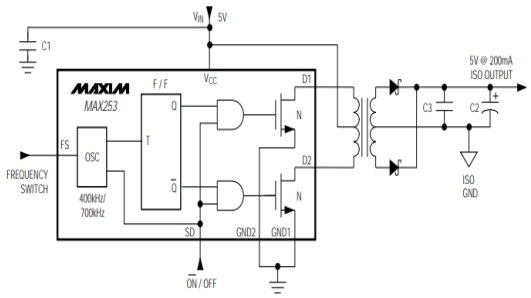



Рис. 2. Внутрішня структура конвертора

Як видно з рис. 2, конвертор містить внутрішній генератор частотою 400 Кгц/700 Кгц (OSC), тригер типу D (F/F), два елементи, що виконують логічну операцію АБО (про що свідчить зовнішній сигнал керування (ON/OFF) та два польових транзистори (D1, D2).

Робота конвертора здійснюється у двотактному режимі, а вихідну напругу живлення елементів підтримують польові транзистори. Виходячи з роботи схеми внутрішня частота генератора ділиться на тригері на два. Такий підхід часто застосовують розробники для генерації елементів комунікаційних частин блоків. З точки зору впливу перешкод ключовим моментом такої схеми є надійність роботи саме польових транзисторів конвертора. Як додаткові заходи фільтрації від перешкод по низькій частоті можна запропонувати включення конденсатора С3, а по високій частоті – С2.

Слід зазначити, що при реалізації апаратної частини саме вихідних каскаді таких блоків застосування електролітичних конденсаторів для захисту від перешкод по низькій частоті, а також трансформаторів приводить до збільшення габаритів пристроїв.

Для дослідження роботи конвертора, в плані надійності його роботи під впливом перешкод, на його вхід подавалась напруга +5 В від джерела живлення без стабілізації. Перевагою застосування таких конверторів для живлення ізольованої частини вихідного інтерфейсу є уніфікація джерела живлення до значення +5 В, так як наявність ще б одного джерела ускладнила б апаратну реалізацію блоків.

На виході напруга під час дослідження склала +5 В. З метою визначення діапазону впливу перешкод на стабільну роботу конвертора фільтрація вихідної напруги не проводилась.

В результаті дослідження амплітуди перешкод на вході та виході конвертора отримані наступні діаграми (рис. 3, 4). Вимір проводився осцилографом С1-64. Одне ділення розгортки осцилографа складає 2 мікросекунди.

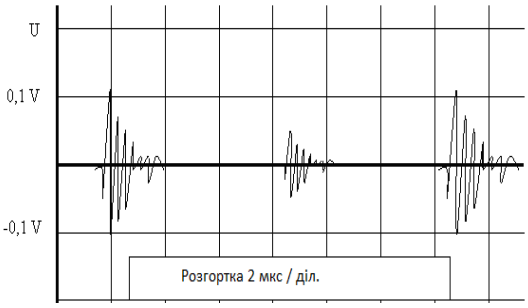



Рис. 3. Перешкода на вході конвертора

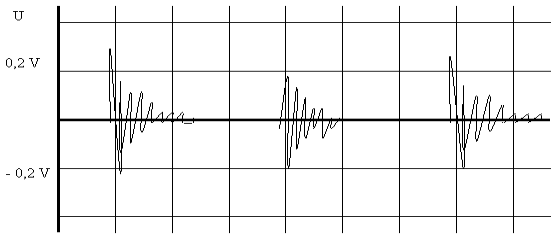



Рис. 4. Перешкода на виході конвертора

Аналіз часових діаграм свідчить про режим роботи вихідного каскаду конвертора, що складається з двох тактів. Наявність внутрішніх елементів (внутрішній генератор, тригер, логіка, транзистори тощо) впливає на деяке зміщення фази коливальних процесів на вході і виході конвертора. Причому, за рахунок вихідних транзисторів рівень перешкоди на виході конвертора навіть збільшується від ± 0,1 В до ± 0,2 В, що є негативним явищем. Коливальний процес триває в межах 2 мкс і має тенденцію до затухання. Даний експеримент свідчить що внутрішні елементи конвертора справляються з задачею зменшення впливу перешкоди на його роботу і час дії перешкоди нетривалий.

Зміна амплітуди перехідного процесу відбувається з початком нового фронту імпульсу. Для дослідження роботи транформатора застосована схема підключення, що наведена на рис. 5.

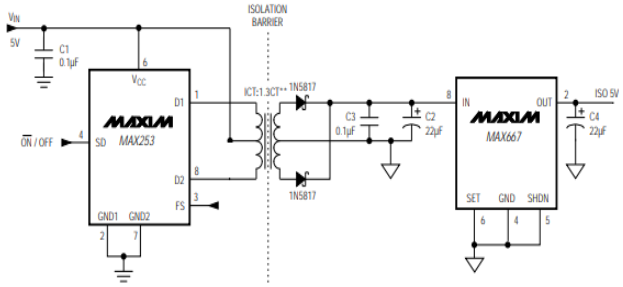



Рис. 5. Електрична схема з використання стабілізатора

Застосування трансформатора у якості ізоляційного бар'єру створює гальванічний зв'язок між виходом конвертора та входом стабілізатора MAX667. На роботу трансформаторної частини впливає індуктивність розсіювання, оскільки магнітне поле не є ідеальним зв'язком обмоток трансформатора – магнітне осердя та ін. В такому випадку передбачаємо присутність паразитних ємностей на вході та виході трансформатора.

Вище наведені недоліки впливають на форму коливального процесу (див. рис. 3 та рис. 4) вигляд якої є характерною ознакою перешкод, що генерує трансформатор Якщо параметр періоду коливань перехідного процесу конвертора дорівнює 35 нс, то частота складатиме

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{35 \cdot 10^{-9}} \approx 28 МГц \cdot \qquad (1)$$

Отримане значення частоти коливального процесу свідчить про наявність перешкод загального виду та необхідність застосування додаткових заходів для зменшення значення перешкод на роботу конвертора.

Використання осцилографа для отримання осцилограм дозволила пересвідчитись у наявності перешкод загального вигляду, аналогічних за формою наведеним на рис. 3 та рис. 4.

Розробники мережевих пристроїв часто стикаються з проблемою наявності перешкод даного типу. Тому доводиться застосовувати додаткові заходи їх нейтралізації.

Якщо визначений період перемикання транзисторів конвертора (див. рис. 3, рис. 4) дорівнює 12 мкс, то частота перемикання становить

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-6}} \approx 83 кГц \qquad (2)$$

Для дослідження частоти перемикання польових транзисторів застосована схема, зображена на рис. 6.

Номінал напруги визначався на резисторі Rx. На рис. 7 наведений викид імпульсу струму. Номінал R дорівнює 100 Ом.

Напруга на резисторі R відповідає струму на вході конвертора.

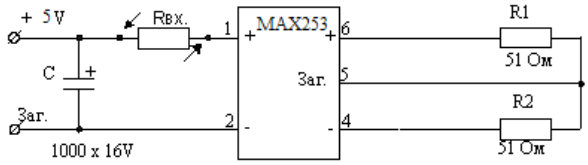



Рис. 6. Схема для дослідження струму на вході конвертора

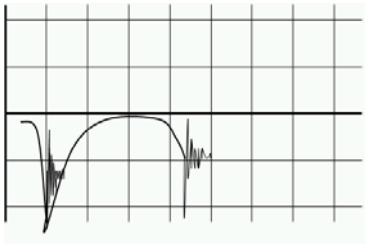


Рис. 7. Струму на вході конвертора

Зменшення значення струму відбувається з моменту закриття вихідних транзисторів. В подальшому значення струму збільшується. Це підтверджує роботу конвертора у два такти. про

Ідентичність перехідного процесу пояснюється відкритим станом обох вихідних транзисторів та їх насиченням, що призводить до викиду додаткового значення струму на вихід конвертора. Через затримку на елементах конвертора час відкритих транзисторів не є ідентичний, чим і пояснюється зсув імпульсів на рис. 8, на якому наведені сигнали на вході елементів D1, D2 і виході D1, D2.

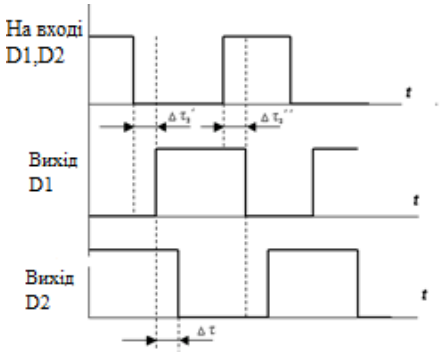



Рис. 8. Затримка вихідних імпульсів

Цим ефектом пояснюється зсув імпульсів на рис 8. Аналогічні викиди можливі і в трансформаторах. Під час закриття транзистора, що знаходився більший час у відкритому стані, відбувається перехідний процес з більш тривалим проміжком часу та амплітудою.

Підключення високочастотних конденсаторів або дроселів не призводить до позитивного результату.

Слід зазначити інверсність перешкоди на виході конвертора (див. рис. 3 та рис.4).

При підключенні до загальних ланцюгів конвертора осцилографа з короткозамкненими на вході контактами кабелю на екрані осцилографа спостерігається форма перешкоди загального

вигляду, аналогічна перешкоді на вході (див. рис. 3) і виході (див. рис. 4) конвертора (рис. 9).

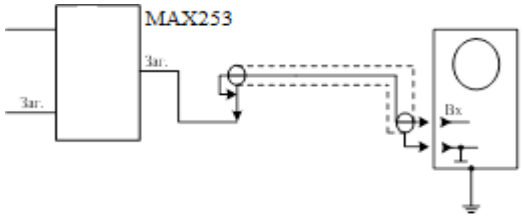



Рис. 9. Підключення осцилографа

З рис. 9 слідує, що вхідний кабель осцилографа представляє для перешкод загального вигляду трансформатор, первинна обмотка якого підключена між загальним проводом конвертора і «землею», а вторинна – між загальним проводом і сигнальним входом осцилографа. Якщо на вході кабелю осцилографа підключити вимірювальний трансформатор (рис. 10), то перешкоду загального вигляду на екрані не зафіксуємо.

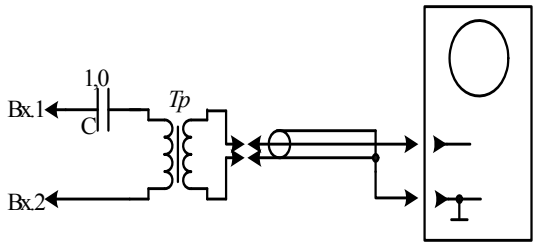



Рис. 10. Підключення на вході кабелю осцилографа роздільного трансформатора

Конденсатор С ємністю 1 мкФ на вході трансформатора виключає постійну складову через первинну обмотку при дослідженні перешкод у ланцюгах конвертора. Ці ланцюги конвертора, як і загальні контакти, для перешкод загального вигляду тотожні.

Експеримент з роздільним трансформатором підтверджує, що мають місце перешкоди загального вигляду.

**ВИСНОВКИ.** Для зменшення перешкод загального вигляду, що впливають на роботу конвертора, слід зазначити використання наступних технічних рішень:

1. Використати конденсатори ємністю 500-1000 мкф як фільтри низької частоти.

2. Підключити паралельно обмоткам трансформатора RC-ланцюжок. Значення конденсатора С вибирається з умови

$$Xc << R, \qquad (3)$$

де Xc=1000 мкф;
R =10 кОм.

3. Підключити паралельно конвектору RC-ланцюжок (рис. 11). Для проведення дослідження обрано значення R=10 кОм, С=10000 пФ.

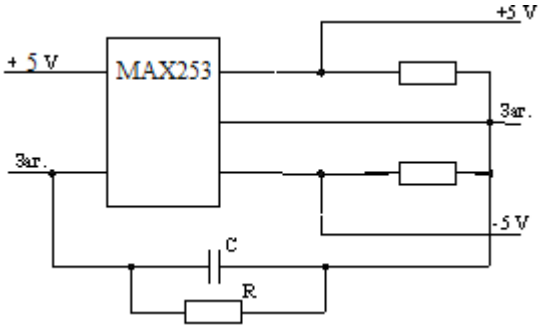



Рис. 11. RC-ланцюжок

4. Використання поздовжніх трансформаторів (рис. 12).

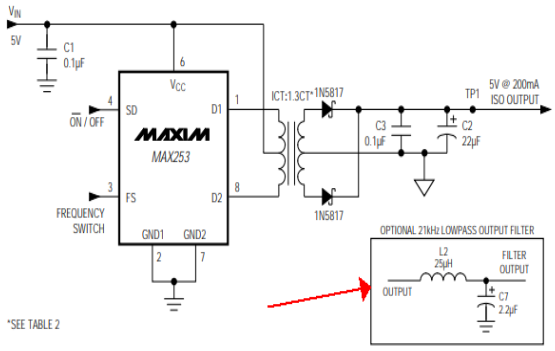



Рис. 12. Підключення поздовжнього трансформатора

Недоліком рішень, запропонованих в п.2. та 3, є гальванічний зв'язок між обмотками трансформатора. Розв'язка конвертора по змінному струму відбувається за рахунок конденсатора. В свою чергу не останню роль в такому використанні відіграють і великі габарити конденсатора.

Для зменшення впливу синфазних перешкод пропонується застосувати наступні шляхи до вирішення цієї проблеми:

1. Обрати схему підключення конвертора наведену на рис. 13 (середня точка обмотки трансформатора підключена до джерела живлення) з додатковими елементами фільтрації.

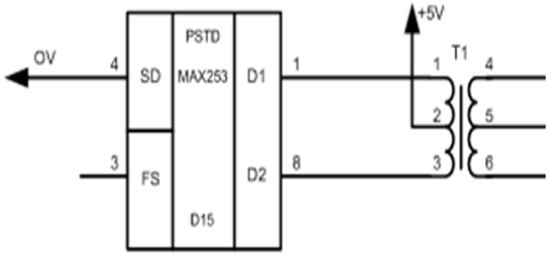



Рис. 13. Фрагмент застосування конвертора MAX253

Недоліком даного методу є загальна недосконала технологія виробництва трансформаторів.

2. Використати поздовжні трансформатори (див. рис. 12).

Слід зазначити, що для практичного використання для зменшення синфазних перешкод прийнятним є лише використання поздовжніх трансформаторів.

**Література**


1. Кардашук В. С. Фейгіна Д.І. Використання двоканального блоку інтерфейсу RS-485. Матеріали IV науково-практичної конференції. «Інформаційні і керуючі системи в промисловості, економіці та екології». – Сєвєродонецьк, 2012. – С. 51-53.
2. Кардашук В.С., Свербіненко В.С. Методи зменшення шумів інтегральних перетворювачів напруги у ланцюгах гальванічної розв`язки. Всеукраїнська науково-практична конференція “Електронні апарати та системи. Проблеми створення. Перспективи розвитку”, 30- 1 жовтня 2015 р., Сєвєродонецьк. – С. 19–23
3. Рязанцев А.И., Иванов А.Н., Кардашук В.С. Экспериментальные исследования интегральных преобразователей напряжения и их применение в цепях гальванической развязки. Проектирование радиоэлектронных и лазерних устройств и систем. Межвузовский сборник научных трудов ФГБОУВПО "Воронежский государственный технический университет". – Воронеж, 2013. – С. 106-116.
4. Рекомендации по разводке сети интерфейса RS-485. Режим доступу http://www.eni-bbmv.ru/images/doc/Statya_RS-485_2.pdf (дата звернення 19.09.2018).
5. Maxim 253. Datasheet. Режим доступу https://www.datasheetarchive.com/Maxim%20MAX253-datasheet.html (дата звернення 19.09.2018).


**Reference**


1. Kardashuk V. S. Feygina D.I. Ispol'zovaniye dvukhkanal'nogo bloka interfeysa RS-485. Materialy IV nauchno-prakticheskoy konferentsii. «Informatsionnyye i upravlyayushchiye sistemy v promyshlennosti, ekonomike i ekologii». - Severodonetsk, 2012. - S. 51-53.
2. Kardashuk V.S., Sverbinenko V.S. Metody umen'sheniya shumov integral'nykh preobrazovateley napryazheniya v tsepyakh gal'vanicheskoy razvyazki. Vseukrainskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Elektronnyye apparaty i sistemy. Problemy sozdaniya. Perspektivy razvitiya ", 30-1 oktyabrya 2015, Severodonetsk. - S. 19-23
3. Ryazantsev A.I., Ivanov A.N., Kardashuk V.S. Eksperimental'nyye issledovaniya integral'nykh preobrazovateley napryazheniya i ikh primeneniye v tsepyakh gal'vanicheskoye razvyazki. Proyektirovaniye radioelektronnykh i lazernykh ustroystv i sistem. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov FGBOUVPO "Voronezhskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet». - Voronezh, 2013. - S. 106-116.
4. Rekomendatsii po razvodka seti interfeysa RS-485. Rezhim dostupa http://www.eni-bbmv.ru/images/doc/Statya_RS-485_2.pdf (data obrashcheniya 19.09.2018).
5. Maxim 253. Datasheet. Rezhim dostupa https://www.datasheetarchive.com/Maxim%20MAX253-datasheet.html (data obrashcheniya 19.09.2018).



**Кардашук В.С., Бойчук А.М. Экспериментальные исследования конверторов напряжения элементов гальванической развязки.**

*В статье предложены методы увеличения надежности работы конверторов напряжения фирмы Maxim с целью их использования в узлах гальванической развязки интерфейса RS-485. Использование продольных трансформаторов позволит уменьшить время переключения выходных транзисторов конвертора и и увеличить надежность передачи данных при проектировании узлов гальванической развязки на дискретных элементах.*

***Ключевые слова:*** *конвертор, помеха, гальваническая развязка, интерфейс.*

**Kardashuk V.S., Boichuk A.M. Experimental studies of galvanic isolation power supply converters.**

*The article suggests methods for increasing the reliability of operation of Maxim voltage converters for the purpose of their use in galvanic isolation nodes of the RS-485 interface. The use of longitudinal transformers will reduce the switching time of the output transistors of the converter and increase the reliability of data transmission when designing electrical isolation nodes on discrete elements.*

***Keywords:*** *converter, noise, galvanic isolation, interface.*



**Кардашук В.С.** – к.т.н, доцент кафедри комп’ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kardashuk1@gmail.com

**Бойчук А.М.** – магістр групи КІ-17дм кафедри комп’ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: arturboichuk55@meta.ua



*Рецензент:* д.т.н., доц. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 19.09.2018

УДК 004.052.32

# МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ

**Касабуцька І.В., Кардашук В.С.**

# METHODS FOR IMPROVING THE TESTING OF DIGITAL SYSTEMS

**Kasabutska I.V., Kardashuk V.S.**

*У статті розглянуті останні дослідження в напрямку те хнології Design & Test, дедуктивно-паралельне моделюван ня несправності цифрових систем, проведена класифікаці я існуючих рішень вдосконалення тестування цифрових си стем, запропонована узагальнена модель дедуктивно-пара лельного аналізу цифрових систем, представлена внутріш ня модель та структури даних для аналізу цифрового при ладу, запропонований дедуктивний аналіз дефектів, розгл янутий синтез дедуктивної функції за допомогою таблиці істинності.*

***Ключові слова:*** *SiP, SoC, дефекти, тестування, цифрові си стеми, синтез, таблиця істинності.*

**Вступ.** Домінування цифрових систем на кристалах (System-on-Chip - SoC) та цифрових систем в пакетах (System-on-Pack - SiP) пояснюється тим, що розвиток високих технологій дозволив об'єднати цифрові, аналогові, радіочастотні та навіть компоненти мікроелектромеханічних систем (Micro-electromechanical systems - MEMS) в одному пристрої - чіпі, що зменшує загальний розмір системи та підвищує її продуктивність [1]. На сьогоднішній день створення мініатюрних, спеціалізованих, економічних мобільних та швидкодіючих цифрових виробів є дуже затребуваним у всьому світі. Тестування SoC і SiP необхідне для забезпечення відсутності помилок в продукції через невідворотні недоліки виробництва. Фактично у процесі виробництва інтегральних мікросхем тестова діяльність відіграє ключову роль завдяки її здатності відрізняти хороші пристрої від несправних перед доставкою кінцевим споживачам, а також для покращення сервісного обслуговування. В основному тестування складається з двох процесів: генерації тестів і тестового застосування. Виробництво тестів означає процес надання відповідних випробувальних подразників, тоді як тестова програма відноситься до процесу застосування цих тестових подразників до входів схеми та аналізу його відповідей. Адаптація існуючих технологій тестування SoC [2], а також розробка нових технологій тестування SiP на сьогоднішній час є пріоритетною проблемою серед вчених та дослідників design-and-test community. Актуальність дослідження полягає в необхідності значного підвищення швидкодії засобів моделювання та генерації тестів для структурно- та функціонально-складних цифрових систем, що імплементуються у кристали програмованої логіки.

**Аналіз останніх досліджень.** Системи тестування фірм Logic Vision, Synopsys, Mentor Graphics, Candence, їх засоби моделювання несправностей та синтезу тестів неприйнятні за часом об-робки цифрових систем на кристалах, в яких налічується декілька мільйонів вентилів. В контексті розгляду цифрових виробів важливо диференціювати типи дефектів за ієрархією: одиночні або кратні несправності - для логічних модулів та пам'яті [3], мікродефекти - для компонентів, що входять до складу SoC або SiP [4]. Щодо систем на кристалах, то реалізація вбудованих тестових методів діагностування передбачає наявність інфраструктури сервісного обслуговування. Стратегія тестування SiP має деякі відмінності від стратегії тестування SoC, оскільки система в пакеті інтегрує в собі компоненти від різних виробників. Використання стандарту IEEE 1500 є однією з найперспективніших стратегій для вбудованого тестування функціональних компонентів [5]. Для вбудованих інструментів тестування, з практичної точки зору, використовується стандарт IEEE 1149.1 (JTAG) [6], що успішно модифікується в такі стандарти, як IEEE 1149. 7 [7] та IEEE P1687 [8] (стандарт був затверджений як новий стандарт IEEE-SA Standards Board 3 листопада 2014 року [9]). Існуючі рішення задачі тестування та ремонту логічних компонентів цифрових систем поділяються на три класифікації:

1. Дублювання логічних елементів або областей кристалу, що приводить до подвоєння апаратної реалізації функціональності. При фіксації несправного елементу або області здійснюється перемикання за допомогою мультиплексора на справний компонент [10]. Запропоновані Xilinx -

американським розробником та виробником інтегральних мікросхем програмованої логіки - моделі Field Programmable Gate Array (далі - FPGA) також застосовуються під час ремонту компонентів FPGA від компанії Altera. При ремонті основною одиницею вимірювання є стовпчик або рядок.

2. Використання генетичних алгоритмів для діагностування та відтворення працездатності на основі автономної реконфігурації кристалу FPGA без використання зовнішніх пристроїв керування [11]. Надійність діагностування дефектів дорівнює 99%, час ремонту - 36 милісекунд замість 660 секунд, необхідних для стандартного конфігурування проекту.

3. Відновлення працездатності кристалів FPGA не критичних за часом за допомогою заміни локальних Complex Logic Block (далі - CLB) на надлишкові запасні компоненти запропоновано в [12,13]. Доступний рівень об'єднання CLB, що підлягає заміні, для критично важливих додатків складає приблизно тисячі логічних елементів.

**Мета.** Головною задачею дослідження є аналіз існуючих засобів та методів пошуку дефектів у цифрових системах на кристалах, пошук їх головних недоліків та розробка нового алгоритму і/або методу тестування, що буде досконаліший за таких попередників, наприклад, як послідовний метод діагностики несправностей, умовний алгоритм пошуку дефектів за допомогою побудови дерева, автоматичні системи тестування фірм Logic Vision, Synopsys, Mentor Graphics, Candence.

**Використання дедуктивно-паралельного методу для виявлення несправностей у цифрових системах.** На двійковому тестовому векторі за одну ітерацію обробки схеми можливо вирахувати всі дефекти, використовуючи модель дедуктивно-паралельного синхро-аналізу несправностей дискретного об'єкту.

$$L = T \oplus F, \tag{1}$$

де - $F = (F_{m+1}, F_{m+1}, ..., F_i, ...F_n)(i = \overline{m+1, n})$ є сукупністю функцій справної поведінки приладу; $m$ - кількість входів; $Y_i = F_i(X_{i1}, ..., X_{ij}, ..., X_{in_i}) - n_i$ - вхідним і-им елементом схеми, що для виявлення стану виходу $Y_i$ на тестовому векторі $T_t$ реалізує $F_i$; $X_{ij}$ - j-й вхід і-го елементу; тест $T = T_1, T_2, ..., T_t, ..., T_k)$ - сукупність двійкових векторів на множині вхідних, внутрішніх та вихідних ліній (виходів), що була в процесі справного моделювання довизначена, впорядкована та об'єднана в матрицю

$$T = [T_{ti}] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & ... & T_{ij} & ... & T_{1n} \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ T_{t1} & T_{t2} & ... & T_{ti} & ... & T_{tn} \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ T_{k1} & T_{k2} & ... & T_{ki} & ... & T_{kn} \end{bmatrix} \tag{2}$$

за допомогою моделювання функції можна визначити невхідну координата матриці;

$T_{ti} = Y_i = F_i(X_{i1}, ..., X_{ij}, ..., X_{in_i})$ на тестовому векторі $T_t$; $L = (L_1, L_2, ..., L_t, ..., L_k)$ - множина дедуктивних схем (моделей), що визначаються за допомогою виразу (1), де $L_t = (L_{t1}, L_{t2}, ..., L_{ti}, ..., L_{tn})$;

$$L_{ti} = T_i \oplus F_i, \tag{3}$$

- дедуктивна функція (далі - ДФ) паралельного моделювання несправностей, що має відповідність справному елементу $F_i$, на тестовому векторі $T_t$. Вираховують список вхідних несправностей, котрі транспортуються на вихід елементів $F_i$, дає можливість елементу $F_i$ [14].

Синхронність моделі (1) може бути виявлена за допомогою умови: $\Delta t = (t_{j+1} - t_j) >> \tau >> \tau_i$, коли проміжок часу поміж зміною вхідних наборів $(t_{j+1} - t_j)$, що подаються на схему, є набагато більшим на відміну від найбільшої затримки схеми елементу. Це дає можливість виключити час як несуттєвий параметр, тому й використовується в технологіях моделювання [14].

Коли функція приладу задана таблицею істинності, використання формули (1) у загальному випадку дає змогу отримати для тестового вектору $T_t$ таблицю транспортування несправностей. Завдяки даній таблиці можливо записати ДФ моделювання дефектів. Наприклад, на рисунку 1 перший доданок є тестовим вектором, а другий і третій - таблицями істинності та транспортування дефектів.

Дедуктивні функції $L_1$, $L_2$ записані по конституантам одиниці таблиць транспортування дефектів у вигляді диз'юнктивної нормальної форми (далі - ДНФ).

Враховуючи розділення тесту на складові вектори рівняння (1) отримання ДФ для $T_t \in T$ буде мати наступний вид: $L_t = T_t \oplus F$. В разі представлення функціонального опису за допомогою примітивів, що формують стан усіх ліній схеми, наступний вираз виступає у якості формули перетворення на тестовому векторі $T_i$ справної моделі примітива $F_i$ в дедуктивну функцію $L_{ti}$:

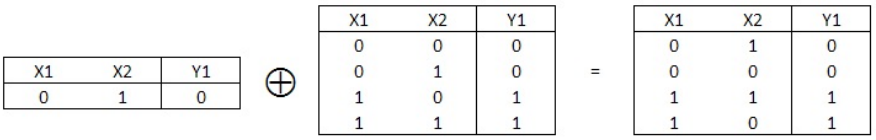
$$L_{ti} = T_i \oplus F_i = f_{ti}[(X_{i1} \oplus T_{t1}), (X_{i2} \oplus \oplus T_{t2}), ..., (X_{ij} \oplus T_{tj}), ..., (X_{in_i} \oplus T_{tn_i})] \oplus T_{ti} \tag{4}$$

Даниа формула є основою дедуктивного аналізу цифрових проектів [15, 16].

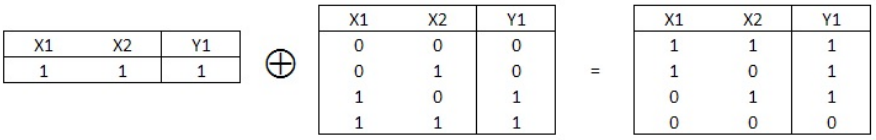
Практична реалізація виразу (4) зводиться до наступного алгоритму:

1. Визначення для тестового вектора t = 0, що обробляється, початкового значення індексу та ініціалізація векторів перевірених дефектів:

$$\forall i(D_i^0 = 0;\ D_i^1 = 0) \qquad (5)$$




$$L_1 = X_1X_2 \cup X_1\bar{X}_2$$




$$L_2 = X_1X_2 \cup X_1\bar{X}_2 \cup \bar{X}_1X_2$$

Рис. 1. ДФ моделювання дефектів

2. Визначення номеру наступного вхідного наб ору t = t+1 для $T_t \in T$. Якщо t > k (немає вхідних набо рів), то кінець моделювання.

3. Справне моделювання всіх примітивів $F_i(i=\overline{1,n})$ схеми на вхідному наборі $T_t^X \in T_t$ з мето ю довизначення невхідних координат вектору $T_t^{\overline{X}} \in T_t$:

$$T_t^{\overline{X}} = f(T_t^X, F) \qquad (6)$$

4. У відповідності до виразу (5) ініціалізація ма триці дефектів, що перевіряються на тестовому векторі $M = [M_{ij}]$. Ініціалізація вектору дефектів, що перевіряються, $\forall i(S_i^0 = 0;\ S_i^1 = 0)$. На основі використання формули (4) реконфігурування всіх примітивів $F_i(i=\overline{1,n})$ з метою отримання дедуктивної схеми $L_t \leftarrow \forall i(L_{ti} = T_t \oplus F_i)$.

5. Паралельне моделювання несправностей з метою довизначення координат відповідних невхідним лініям схеми шляхом виконання регістрових операцій над рядками матриці дефектів M, що перевіряється, за допомогою дедуктивних функцій, що були отримані.

6. Формування перевіряємих векторів несправностей до всіх входів матриці відповідним вихідним лініям схеми за допомогою формули:

$$S^0 = \left(\bigcup_{\forall i \in Y} M_i\right) \cap T_t;\ \ S^1 = \left(\bigcup_{\forall i \in Y} M_i\right) \cap \overline{T}_t; \qquad (7)$$

7. Якість тестового вектора $T_t \in T$ при ідентичності списків несправностей у двох сусідніх ітераціях $(S^0 \cup S^1)^{r-1} = (S^0 \cup S^1)^r$, (де r - це індекс ітерації) визначається формулою:

$$Q(T_t) = \frac{1}{2n}\left[\sum_{i=1}^{n}(S_i^0 + S_i^1)\right] \qquad (8)$$

та здійснюється перехід до наступного пункту. Інакше виконується виключення дефектів із процесу моделювання за правилом:

$$(S_i^0 = S_i^1 = 0) \leftarrow \forall i[(S_i^0 \cup S_i^1 = 1)^{r-1}\ \&\ (S_i^0 \cup S_i^1 = 0)^r] \qquad (9)$$

якщо спостерігається зникнення несправностей, що перевіряються в ітерації r порівняно з r-1:

$$\exists i[(S_i^0 \cup S_i^1 = 1)^{r-1}\ \&\ (S_i^0 \cup S_i^1 = 0)^r] \qquad (10)$$

здійснюється перехід до пункту п'ять.

8. Формування векторів перевірених несправностей відповідно до виразу

$$D^0 = D^0 \cup S^0, D^1 = D^1 \cup S^1 \qquad (11)$$

та визначення якості тесту за формулою:

$$Q(T_t) = \frac{1}{2n}\left[\sum_{i=1}^{n}(D_i^0 + D_i^1)\right] \qquad (12)$$

На рисунку 2 представлений універсальний функціональний примітив (симулятор) дедуктивно-паралельного аналізу несправностей.

У симуляторі представлені регістрові (X1, X2) та булеві (x1, x2) входи, логічні функції (елементи) (І, АБО) вихідна регістрова змінна Y.

Таблиця 1 ілюструє паралельне моделювання вхідних 4-розрядних векторів несправностей для отримання на виході Y множини дефектів для логічних елементів, що перевіряються.

Даний симулятор дає можливість трансформувати вентильну модель F справної поведінки схеми у дедуктивну модель L, що не передбачає в процесі моделювання використання вентильної моделі. Як апаратна модель ДФ симулятор орієнтований на створення вбудованих

засобів дедуктивно-паралель-ного моделювання, що в порівнянні з програмною реалізацією підвищує швидкодію аналізу в 10-1000 разів.

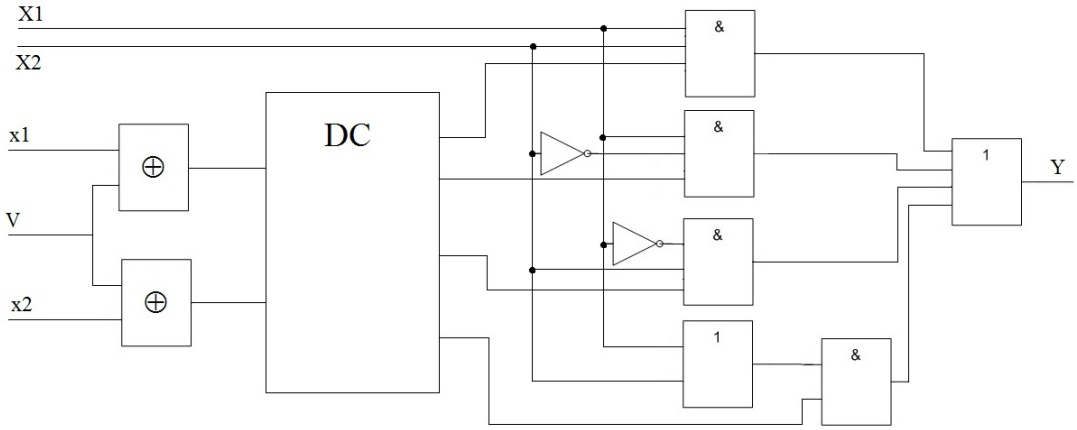



Рис. 2. Симулятор несправних примітивів

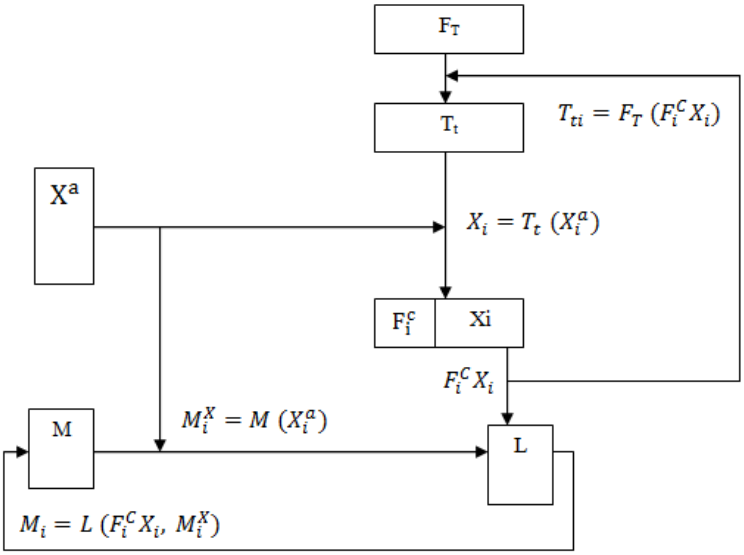



Рис. 3. Модель дедуктивно-паралельного аналізу

Таблиця 1

**Паралельне моделювання векторів несправностей**

| І/АБО | x1x2 | X1 | X2 | Y |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 00 | 0111 | 1011 | 0011 |
| 1 | 00 | 0111 | 1011 | 1111 |
| 0 | 11 | 0101 | 0110 | 0111 |
| 1 | 11 | 1101 | 0111 | 0101 |

На рисунку 3 представлена модель аналізу дедуктивно-паралельним методом, де M і L - два додаткових модулі; $Y_i$ - вихід логічного елементу; $F_T$ - таблиця істинності сукупності булевих функцій, що описує елементи схеми; $(F_i^C * X_i)$ - вхідний набір; $M_i = L(F_i^C X_i, M_i^X)$ - отриманий з $F$ аналітичний вираз для визначення перевіряємих векторів несправностей об`єднаних в матрицю M за допомогою набору дедуктивних функцій L; $F_i^C$ - ідентифікатор елементу (двійковий код).

Дедуктивно-паралельний аналіз дефектів орі-єнтова ний на обробку великих проектів вентильного та рег істрового рівней опису з метою отримання таблиці н есправностей та оцінки якості покриття тестом дефе ктів заданого класу. Об'єкт тестування представлени й у формі структур, таблиць, булевих рівнянь, кубіч них покриттів, що реалізує складну цифрову систем у, вбудовану в кристали SoC. В даному випадку тех нологічно розглядати процедури синтезу на основі а налітичної форми. При цьому логічний елемент з дв ома вхідними лініями перетворюється на елемент з ч отирма вхідними лініями, де x1, x2 - булеві входи, а *a* і *b* - додаткові регістрові. Регістрові входи служать для транспортування списків несправностей, а булев і (керуючі) - для виконання операцій над зовнішніми списками дефектів. Для логічного елементу АБО фу нкція представлена картою Карно в таблиці 2.

Мінімізація примітиву з таблиці 2 приводить до формування трьох дедуктивних функцій різної складності розв'язання.

Таблиця 2

**Карта Карно для логічного елементу АБО**

L = f(x,y,a,b) =

| (x,y)\(a,b) | 00 | 01 | 11 | 10 |
|---|---|---|---|---|
| 00 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 01 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 1 |

1) $$L = f(x,y,a,b) = (\bar{\bar{x}}\bar{y} \cap ab) \cup (y \cap a\bar{\bar{b}}) \cup$$
$$\cup (x \cap \bar{a}\bar{b}) \cup (xy \cap b) \cup (xy \cap a) =$$
$$= (\bar{\bar{x}}\bar{y} \cap ab) \cup (x \cap \bar{a}\bar{\bar{b}}) \cup (y \cap a\bar{\bar{b}}) \cup$$
$$\cup [(xy \cap (a \cup b)] \quad (13)$$

2) $$L = f(x,y,a,b) = (\bar{\bar{x}}\bar{y} \cap ab) \cup (y \cap a\bar{\bar{b}}) \cup$$
$$\cup (x \cap \bar{a}\bar{b}) \cup (xy \cap a) = (\bar{\bar{x}}\bar{\bar{y}} \cap ab) \cup$$
$$\cup (x \cap \bar{a}\bar{b}) \cup [(ya \cap (x \cup \bar{\bar{b}})]$$

3) $$L = f(x,y,a,b) = (\bar{\bar{x}}\bar{y} \cap ab) \cup (y \cap a\bar{\bar{b}}) \cup$$
$$\cup (x \cap \bar{a}\bar{b}) \cup (xy \cap b) \cup (xy \cap a) = (\bar{\bar{x}}\bar{\bar{y}} \cap ab) \cup$$
$$\cup [(ya \cap (x \cup \bar{\bar{b}})] \cup [(xb \cap (y \cup \bar{\bar{a}})]$$

Результати мінімальних по Квайну функцій апаратно реалізуються у наступні схеми: на рисунку 4 представлена схема дедуктивного примітиву елементу АБО, на рисунку 5 - елементу І, а на рисунку 6 - елементу виключне АБО (складання за модулем 2 - Хог).

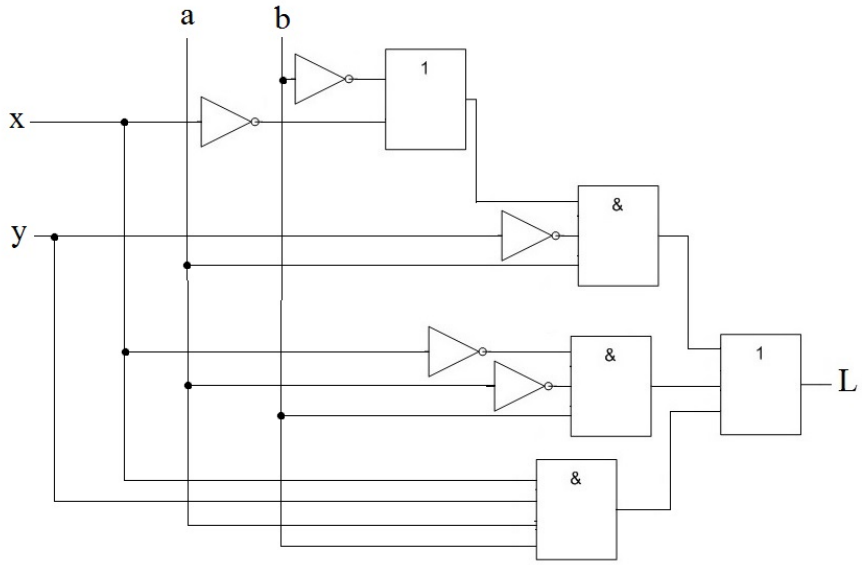



Рис. 4. Схема дедуктивного примітиви елементу АБО

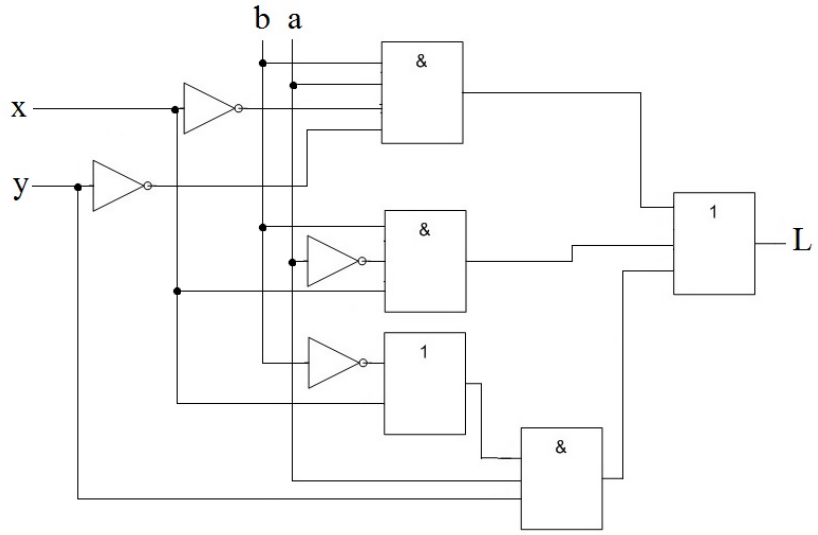



Рис. 5. Схема дедуктивного примітиви елементу I

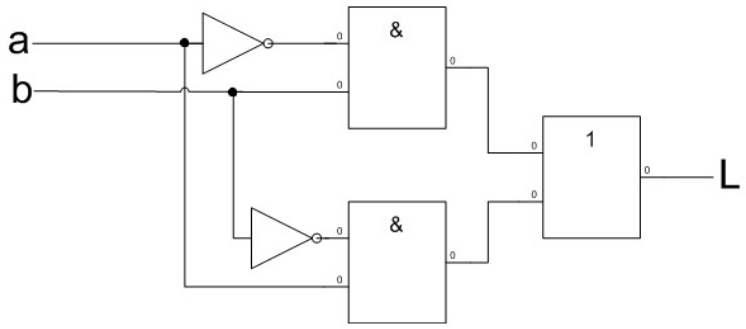



Рис. 6. Схема дедуктивного примітиву елементу Хог

Таблиця 3

**Карта Карно D-тригера**

L = (T,X)

| (T)\(X) | 000 | 001 | 011 | 010 | 110 | 111 | 101 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 000 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 001 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 011 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 010 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 110 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 111 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 101 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 100 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Регістровий рівень опису компонентів цифро вої системи відрізняється функціональною складніст ю, що впливає на розмір таблиць істинності та кубіч них покриттів. На цьому рівні розглядаються такі фу нкціональності, як тригери, засувки, лічильники, рег істри, мультиплексори, шинні структури. Наприклад , синтез дедуктивної функції D-тригера з трьома бул евими та трьома регістровими вхідними лініями $Q = DC \cup \overline{C}\overline{\overline{D}}Q(t-1)$, функція якого представлена к артою Карно в таблиці 3.

$$L = f(c,d,q,C,D,Q) = (\bar{c} \cap \overline{CD}Q) \cup (\overline{C}DQ) \cup \cup (c \cap \overline{C}D\overline{Q}) \cup (\bar{\bar{c}}\bar{d}\bar{q} \cap CD) \cup (\bar{\bar{c}}\bar{d}q \cap C\overline{D}) \cup \cup (\bar{c}dq \cap CD) \cup (\bar{c}\bar{d}\bar{q} \cap C\overline{D}) \cup (cd\bar{q} \cap C\overline{Q}) \cup \cup (cdq \cap CQ) \cup (c\bar{d}q \cap C\overline{Q}) \cup (c\bar{\bar{d}}\bar{q} \cap CQ) \quad (14)$$

**Висновок**. Проведений аналіз існуючих засобів та методів пошуку дефектів у цифрових системах на кристалах. Проведена їх класифікація за трьома основними ознаками. Запропонований дедуктивний аналіз дефектів, що об'єднує в собі переваги дедуктивного виявлення списків несправностей, ефективного з точки зору математики, та виконання паралельних процедур, що орієнтовані на високошвидкісну обробку цифрових приладів вентильного, системного та регістрового рівней опису.

**Література**


1. Ziad Noun. Wireless Approach for SIP and SOC Testing. 2010. URL: https://tel.archives-ouvertes.fr/file/ index/docid/512832/filename/Ziad_Noun_-_Wireless_ Approach_for_SiP_and_SoC_testing.pdf (дата звернення: 25.08.2018).
2. Литвинова Евгения Ивановна Технологии встроенного тестирования system-in-package // Радиоэлектроника и информатика. 2008. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vstroennogo-testirovaniya-system-in-package (дата звернення: 25.08.2018).
3. М. Ф. Каравай. Алгоритм построения проверяющего теста для кратных неисправностей по структуре комбинационного устройства. Автомат. и телемех. 1975. №1. 162–170. URL: http://www.mathnet.ru/ php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=7778&option_lang=rus (дата звернення: 25.08.2018).
4. С. Й. Олиховский, М. М. Белова, Е. В. Кочелаб. Кинетика образования и роста микродефектов в кристаллах / / Успехи физ. мет. 2006 URL: https://www.researchgate.net/profile/S_Olikhovskii/publication/266736698_Kinetics_of_nucleation_and_growth_of_microdefects_in_crystals_in_Russian/links/5439a20f0cf2d6698be1676a/Kinetics-of-nucleation-and-growth-of-microdefects-in-crystals-in-Russian.pdf (дата звернення: 25.08.2018).
5. Appello D., Bernardi P., Grosso M., Reorda M.S. System-in-package testing: problems and solutions // IEEE Design & Test of Computers. Vol. 23, Issue 3. May-June, 2006. P. 203 – 211.
6. Городецкий Ами Встроенные инструменты тестирования // Компоненты и Технологии. 2009. №92. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vstroennye-instrumenty-testirovaniya (дата звернення: 23.08.2018).
7. Городецкий Ами Новый JTAG-стандарт IEEE 1149. 7 / / Компоненты и Технологии. 2010. №105. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-jtag-standart-ieee-1149-7 ( дата звернення: 23.08.2018).
8. Farrokh Ghani Zadegan , Urban Ingelsson , Gunnar Carlsson and Erik Larsson. Design Automation for IEEE P1687. 2011. URL: https://www.ida.liu.se/labs/eslab/ publications/pap/db/farza_DATE11.pdf (дата звернення: 23.08.2018 ).
9. IEEE-SA Standards Board: веб-сайт. URL: http://grouper.ieee.org/groups/1687/ (дата звернення: 23.08.2018).
10. Subhasish M.$ Huang W.-J., Saxena N.R., Yu S.-Y., McCluskey E.J. Reconfigurable architecture for autonomous self-repair // IEEE Design & Test of Computers. Volume 21, Issue 3. May-June, 2004. P.228-240.
11. Ross R., Hall R. A FPGA Simulation Using Asexual Genetic Algorithms for Integrated Self-Repair // Adaptive Hardware and Systems, 2006.-AHS 2006. First NASA/ESA Conference on Volume. Issue 15-18 June 2006. P. 301-304
12. Habermann S., Kothe R., Vierhaus H.T. Built-in self repair by reconfiguration of FPGAs // Proceeding of the 12th IEEE International Symposium on On-Line Testing. 2006. P. 187-188.
13. Pontarelli, M. Ottavi, V. Vankamamidi, A. Salsano, F Lombardi. Reliability Evaluation of Repairable/Reconfigurable FPGAs // 21st IEEE International Symposium on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems (DFT'06)/ October, 2006. P. 227-235.
14. Автоматизированное проектирование цифровых устройств / С.С. Бадулин, Ю.М. Барнаулов и др./ Под ред. С.С. Бадулина. М.: Радио и связь, 1981. 240 с.
15. Hahanov V.I, Babich A.V., Hyduke S.M. Test Generation and Fault Simulation Methods on the Basis of Cubic Algebra for Digital Devices // Proceeding of the Euromicro Symposium on Digital System Design DSD2001/ Warsaw, Poland. September, 4-6, 2001. P. 228-235.
16. Abramovici M., Breuer M.A. and Friedman A.D. Digital systems testing and testable design. Computer Science Press. 1998. 652 p.
17. Харитонова А.В. Методы дефектоскопии трубопроводов нефтеперерабатывающих заводов // Інтернет-конференція «Информационные и управляющие системы в промышленности, экономике и экологии». URL: https://refdb.ru/look/2853153.html (дата звернення: 25.08.2018).


**References**


1. Ziad Noun. Wireless Approach for SIP and SOC Testing. 2010. URL: https://tel.archives-ouvertes.fr/file/ index/docid/512832/filename/Ziad_Noun_-_Wireless_ Approach_for_SiP_and_SoC_testing.pdf (data zverne- nnja: 25.08.2018).
2. Litvinova Evgenija Ivanovna Tehnologii vstroennogo testirovanija system-in-package // Radiojelektronika i informatika. 2008. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vstroennogo-testirovaniya-system-in-package (data zvernennja: 25.08.2018).
3. M. F. Karavaj. Algoritm postroenija proverjajuschego testa dlja kratnyh neispravnostej po strukture kombinacionnogo ustrojstva. Avtomat. i telemeh. 1975. №1. 162–170. URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=7778 &option_lang=rus (data zvernennja: 25.08.2018).
4. S. J. Olihovskij, M. M. Belova, E. V. Ko4elab. Kinetika obrazovanija i rosta mikrodefektov v kristallah // Uspehi fiz. met. 2006 URL: https://www.researchgate.net /profile/S_Olikhovskii/publication/266736698_Kinetics_of_nucleation_and_growth_of_microdefects_in_crystals_in_Russian/links/5439a20f0cf2d6698be1676a/Kinetics-of-nucleation-and-growth-of-microdefects-in-crystals-in-Russian.pdf (data zvernennja: 25.08.2018).
5. Appello D., Bernardi P., Grosso M., Reorda M.S. System-in-package testing: problems and solutions // IEEE Design & Test of Computers. Vol. 23, Issue 3. May-June, 2006. R. 203 – 211.
6. Gorodeckij Ami Vstroennye instrumenty testirovanija // Komponenty i Tehnologii. 2009. №92. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vstroennye-instrumenty-testirovaniya (data zvernennja: 23.08.2018).
7. Gorodeckij Ami Novyj JTAG-standart IEEE 1149. 7 // Komponenty i Tehnologii. 2010. №105. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novyy-jtag-standart-ieee-1149-7 (data zvernennja: 23.08.2018).
8. Farrokh Ghani Zadegan , Urban Ingelsson , Gunnar Carlsson and Erik Larsson. Design Automation for IEEE P1687. 2011. URL: https://www.ida.liu.se/labs/eslab/ publications/pap/db/farza_DATE11.pdf (data zverne-nnja: 23.08.2018).

9. IEEE-SA Standards Board: veb-sajt. URL: http://grouper.ieee.org/groups/1687/ (data zvernennja: 23.08.2018).
10. Subhasish M.$ Huang W.-J., Saxena N.R., Yu S.-Y., McCluskey E.J. Reconfigurable architecture for autonomous self-repair // IEEE Design & Test of Computers. Volume 21, Issue 3. May-June, 2004. P.228-240.
11. Ross R., Hall R. A FPGA Simulation Using Asexual Genetic Algorithms for Integrated Self-Repair // Adaptive Hardware and Systems, 2006.-AHS 2006. First NASA/ESA Conference on Volume. Issue 15-18 June 2006. P. 301-304
12. Habermann S., Kothe R., Vierhaus H.T. Built-in self repair by reconfiguration of FPGAs // Proceeding of the 12th IEEE International Symposium on On-Line Testing. 2006. P. 187-188.
13. Pontarelli, M. Ottavi, V. Vankamamidi, A. Salsano, F Lombardi. Reliability Evaluation of Repairable/Reconfigurable FPGAs // 21st IEEE International Symposium on Defect and Fault-Tolerance in VLSI Systems (DFT'06)/ October, 2006. P. 227-235.
14. Avtomatizirovannoe proektirovanie cifrovyh ustrojstv / S. S. Badulin, Ju.M. Barnaulov i dr./ Pod red. S.S. Badulina. M.: Radio i svjaz', 1981. 240 s.
15. Hahanov V.I, Babich A.V., Hyduke S.M. Test Generation and Fault Simulation Methods on the Basis of Cubic Algebra for Digital Devices // Proceeding of the Euromicro Symposium on Digital System Design DSD2001/ Warsaw, Poland. September, 4-6, 2001. P. 228-235.
16. Abramovici M., Breuer M.A. and Friedman A.D. Digital systems testing and testable design. Computer Science Press. 1998. 652 p.
17. Haritonova A.V. Metody defektoskopii truboprovodov neftepererabatyvajuschih zavodov // Internet-konferencija «Informacionnye i upravljajuschie sistemy v promy6lennosti, jekonomike i jekologii». URL: https://refdb.ru/look/2853153.html (data zvernennja: 25.08.2018).

**Касабуцкая И.В., Кардашук В.С., Методы совершенствования тестирования цифровых систем.**

*В статье рассмотрены последние исследования направления технологии Design & Test, дедуктивно-параллельное моделирование неисправности цифровых систем, проведена классификация существующих решений совершенствования тестирования цифровых систем, предложена обобщённая модель дедуктивно-параллельного анализа цифровых систем, представлена внутренняя модель и структуры данных для анализа цифрового устройства, предложен дедуктивный анализ дефектов, рассмотрен синтез дедуктивной функции с помощью таблицы истинности.*

***Ключевые слова:*** *SiP, SoC, дефекты, тестирование, цифровые системы, синтез, таблица истинности.*

**Kasabutska I.V., Kardashuk V.S., Methods for improving the testing of digital systems.**

*The article examines the latest research of Design & Test technology, deductive parallel modeling of the malfunction of digital systems, classifies existing solutions for improving the testing of digital systems, proposes a generalized model of deductive parallel analysis of digital systems, presents an internal model and data structures for the analysis of a digital device, proposes deductive defect analysis, the synthesis of the deductive function with the help of the truth table.*

***Key worlds:*** *SiP, SoC, defects,testing, digital systems, synthesis, truth table.*

**Касабуцька Ірина Валеріївна,** бакалавр напряму підготовки комп'ютерна інженерія, студентка, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: rootshawroot@gmail.com.

**Кардашук Володимир Сергійович**, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, e-mail: kardashuk1@gmail.com.

*Рецензент:* д.т.н., доц. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 21.10.2018

UDC 004.891.3

# KNOWLEDGE BASESYSTEM DESIGN FOR DIAGNOSIS OF COMPUTER COMPONENTS USING FLOWCHART

**Krivoulya G.F., Shcherbak V. K.**

# ПРОЕКТУВАННЯ БАЗИ ЗНАНЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ КОМП'ЮТЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БЛОК – СХЕМ

**Кривуля Г.Ф., Щербак В. К.**

*In this paper is proposed the procedure a knowledge base designing for computer components diagnosis using flowcharts and Bayes method. The intelligent expert system automates the process of maintenance, repair, and relieves technical staff from manual execution of routine, time-consuming tasks for maintenance of computer components. The expert system detects various hardware malfunctions, as well as gives recommendations for their possible correction. Production rules of the proposed expert system are in the form of operations if-then. An expert system conducts a dialogue with the user, receives facts about the problem and asks questions in the process of user consultation with the system. During the consultation, questions appear on the computer's display screen; the user answers by storing the answers or important data. An expert system prepares a response to the user using the Bayesian method and the diagnostic knowledge base. Applying the results of the expert system with the probability of a malfunction for each outcome allows you to optimize the procedure for diagnosing the computer hardware components.*

***Keywords:*** *diagnosis, knowledge based system, expert system, flowchart, Bayesian method*

**Introduction.** Today, computer systems are used in many areas of science and technology and the demand for reliable operation of computers is increasing. Computer systems continue to become more complex and many users face computer problems due to the difficulties of diagnosing a possible malfunction in the computer hardware or software. Hardware malfunctions are the most difficult because it affects our daily life and our work. Extensive use of computers makes computer maintenance a problem that cannot be ignored and needs to be solved. It is recommended to use expert systems to diagnose hardware failures. An expert system is a computer program that can perform at the level of a human expert in a specific problem area, such as hardware or software problems. Expert systems are knowledge-based systems that mimic a chain of reasoning by an expert in a particular problem area or clarify uncertainties when it is usually necessary to consult one or more human experts. Expert systems not only help us, but also act as an intelligent person, full of knowledge, and give us advice in many areas where it is impossible to get many people to do the same. The main goal of the expert system is to provide a solution to the problem, when necessary, sometimes in a matter of seconds this use. Expert systems thanks to their knowledge can make accurate and fast decisions and can assist all professionals and users.

The use of expert diagnostic system with good knowledge base provides support for decisions in situations for which the diagnosis algorithm is not known and is formed from the initial data in the form of production rules. To automate the process of accumulation of knowledge in an expert system, it is advisable to use flowchart of the computer components.

**Statement of the problem**. Each part of the computer system has its own troubleshooting mechanisms to ensure its integrity at the time of the problem in the computer system. There is a limited amount of troubleshooting resources and standardized service strategies to determine the problem of computer component at the general level or at a special level of maintenance. The detection of one or more problems that arise in the computer component is a challenge for technicians. Professionals use this limited number of troubleshooting resources to specifically support the problem of computer components, since this solution is not a simple task for a technical worker. Solving the problem of a limited number of troubleshooting resources and maintaining the technical expertise of expert systems is critical. Using an intelligent expert system reduces the time and cost of troubleshooting and repairing errors.

**Resent Publications.** The expert diagnostic system is suggested to be used for the analysis of the computer system's technical state [1, 2, 3]. The causes of computer hardware failure are summarized and the

specific maintenance methods are provided for diagnosing the computer hardware failures [2]. An expert system is introduced to develop hardware for fault-detection for any computer system with many types of computer faults and it is divided into different problem modules [3]. The mathematical apparatus that allows operating the expert assessment of the diagnosis object's state (hardware, software or staff) is fuzzy logic. In the preparation stage of the diagnostic experiment it is proposed to describe the diagnostic features of the computer system in terms of linguistic variables, which makes it possible to use the knowledge and experience of the expert in their familiar form [1]. The disadvantage of modern monitoring systems in the diagnosis of complex technical objects is the inability to determine the initial stage of a failure diagnosis object. The introduction of modern intelligent technology in solving problems of diagnosis can not only compare the monitored parameters with their reference values, but also to predict the possibility of determining the initial stage of malfunctions in the form of failures, both individual elements and the object as a whole [4]. Expert system is a computer program capable of performing at the level of a human expert in a specific problematic area such as computer hardware failures [5]. An expert system was designed to model the behaviour of an expert in some fields and use the same rules the expert would use to draw conclusions from a set of facts that are presented to the system [6]. Diagnosis Expert System using Bayesian Networks is system developed to help patients and non-patients to diagnose common adult diseases based on the given symptoms. This application uses Bayesian Networks in diagnosing the diseases [7]. The functional diagnosis expert system based on knowledge base in the form of neuro-fuzzy network was proposed in this paper. Current values of diagnostic parameters are measured by sensors. The hybrid expert diagnostic system with neuro-fuzzy network knowledge base supports decisions in the situation when the diagnosis algorithm is not known and is formed from the initial data in the form of production rules [8]. The using flowcharts and decision trees for computer component diagnosis are described in [9, 10].

Thus, in determining the technical condition of the complex technical facilities (computer systems) major critical factor is the time of the decision to localize faults. The use of expert diagnostic system with knowledge base provides support for decisions in situations for which the diagnosis algorithm is not known and is formed from the initial data in the form of production rules. To automate the process of accumulation of knowledge in an expert system, it is advisable to use flowcharts of the technical object. From the analysis of articles follows focus on developing the knowledge base as the main part of the diagnosis expert system.

**The purpose of the paper** is to describe the knowledge base system designed for the diagnosis of computer components using flowcharts and decision trees.

**The using flowchart and decision tree for diagnosis of computer components.** This part of article presents computer hardware faults and troubleshooting with repair flowcharts [10]. Troubleshooting is applied to computer component that has suddenly stopped working. It is previously working state forms the expectations about its continued behavior. A basic principle in problem analysis is to start from the most probable possible problems first. A troubleshooter using flowchart could check each component in a computer one by one, substituting known good computer components for each suspect one. This consistent process can be considered on the stage when components are substituted without regard to a hypothesis concerning how their breakdown could result in the symptoms being diagnosed. Simple and intermediate items can be easily represented by trees of dependencies among their components or subsystems. Technical documentation produced by proficient engineers and experts is very helpful, especially when it provides a theory of operation for the targeted device of computer system. Troubleshooting can also prepare the systematic checklist, troubleshooting procedure, flowchart or table that is made before a problem occurs.

Developing troubleshooting procedures in advance allows in organizing the diagnostic failure seeking into the most efficient fault diagnosing process. Fault diagnosing tables can be calculated to make them more efficient for users. Some computerized fault diagnosing services immediately show all available solutions with the highest probability of fixing the issue. The technician can either answer additional questions to advance through the fault seeking procedure or immediately implement the solution they think will fix the malfunction.

We use the following flowchart (Fig. 1) to build our expert system. To solve the problems that occur in the Power Supply PC we have created the meant expert system by keeping a track of the chart. In brief, the previous flowchart shows the way to provide the appropriate solution.

Morris Rosenthal in [10] describes how to find a power supply failure using flowchart: "Check power comes on, then we check if there isn't live screen, we proceed to video failure hart, if we get live screen, we will have new build, then we check power requirement vs rating. But if power doesn't come on, then if there isn't good AC power source, we use live outlet. If there isn't new build, we will try again to boot on we get premature power ok signal. Try different power supply. If it doesn't boot on, we check if we hear any beeps, then we proceed to motherboard failure chart, if there aren't any beeps, we need to install new hardware and remove latest addition and retry. Test replace power supply if there is a good AC power source, we check if 110/220V is set, then select proper voltage on near of power supply if 110/220 V is set, then we check, if motherboard lead isn't installed, we check manual and motherboard silkscreen …" and so on.

Fig. 1. Power Supply Flowchart [Source: 10]

As we can see, the troubleshooting description is detailed, but is difficult to understand and follow up. Therefore, it is advisable to use intelligent expert systems for repairing hardware. It is necessary to design a knowledge base for the expert system. The source data for the knowledge base can serve as flowcharts or decision trees.

Sample decision trees for creation of knowledge-base are nothing more than restricted types of graphs, just with many more rules to follow.. A tree will always be a graph, but not all graphs will be trees. So, what is it that makes a tree different from the graphs. A tree can only flow in one direction, from the root node to either leaf nodes or child nodes. A tree can also only have one-way connections a child node can only have one parent, and a tree can't have any loops, or cyclical links.

Decision trees are modeling tools that are used in a variety of different settings to organize and break down clusters of data. Similarly, decision tree have been widely used in practical applications area, due to its interpretability and ease of use. The decision tree was used in computer domain to understand the dimension of the problem. Each tree starts with a set of computer problems and ends with solutions.

As a result, representing computer and network problem based on decision tree structure helps the technician or computer user to identify each problem with little effort. Therefore, the system improves the computer troubleshooting service; minimize the burdens of technicians, fill the gaps of limited manpower, delay of time and backlog.

The technicians acquire required information from the computer user. To make this acquired knowledge functional in knowledge representation, the knowledge based system is modeled by using decision tree structures.

Decision tree structures are the bases for the development of prototype knowledge based system. The prototype follows the same procedures as presented in the decision tree when diagnosing computer problems..

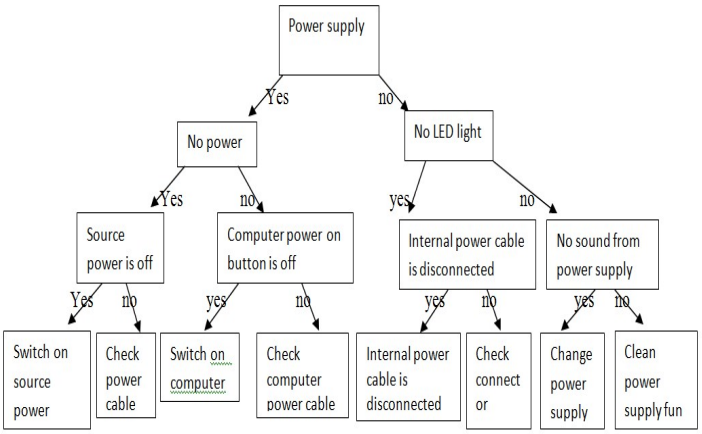



Fig. 2. Decision Tree Part for Power Supply Diagnosis

The common causes of each problem is used to determine the presence of specific cases that has been illustrated (fig.2) using decision tree structures. Based on the decision tree structures, some problems which have similar characteristic in nature were incorporated in the knowledge base to show that some causes can also be causes for other problems. Therefore, similar procedures have been followed for all problems occurring in the computer system. Some of the causes were modeled by using decision tree as follows (fig. 2)

We can write down questions for the knowledge base using flowchart or Decision tree. The number of questions is equal to the number of conditional vertices with two outputs (yes, no) on the power supply flowchart. For this example there will be 15 following "yes-no" questions: (1) Power comes on (2) Live screen (3) Good power source (4) New build (5) Is 110/220 V set (6) Boot on 2nd try (7) Hear any beeps (8) Installed motherboard lead (9) New hardware installed (10) Power switch fail (11) Power supply connections to motherboard correct (12) Hard drive spin up (13) Spin up on other lead (14) Bad adapter on bus (15) Power motherboard on bench.

Similarly, we write down possible faults of power supply, their number will be equal to the number of vertices with one input.

**Faults (Response options):** 1. proceed to video failure. 2. check power. 3. use live outlet. 4. premature power. 5. select proper voltage. 6. poceed to motherboard. 7. check manual.8. remove latest addition. 9. replace switch. 10. remake motherboard. 11. either you have. 12. defective power supply. 13. replace power supply. 14. strip system. 15. try drive in test PC.

**Preparation of the knowledge base for diagnosis of computer components.**

We will use the knowledge base of the small expert system [11]. This is simple expert system, using a Bayesian inference system that is intended for consultation with the user in any application area for the loaded knowledge base. The program determines the probability of possible outcomes and uses for this an assessment of the plausibility of certain data, received from the user. An important advantage of this program is the ability to create and use your own knowledge base.

At the first stage of creating a knowledge base, it is necessary to formulate knowledge about the area in question in the form of two sets:

– Q = {qj} - a set of questions (symptoms, evidence)

– V = {vi} - a set of outcome options (solution options),

– two probability matrices : Py = {$Py_{ij}$} and Pn = {$Pn_{ij}$} of size m×n, where

– $Py_{ij}$ is the probability of receiving a positive answer to the j th question if the i-th outcome is correct;

– $Pn_{ij}$ is the probability of receiving a negative answer to the j-th question if the i-th outcome is correct; Where n and m - the number of questions and outcomes, respectively.

In addition, for each outcome, the a priori probability of a given outcome Papr is assigned, i.e. probability of outcome in the absence of additional information. In the course of expert system operation, the solver, using these sets and matrices and Bayes theorem, determines the a posteriori probability Ppst of each outcome, that is, the probability adjusted according to the user's answer to each question: - with a positive response; - with a negative answer. When the answer is "I do not know" the posterior probability is equal to the prior.

That is, the probability of the implementation of a certain hypothesis in the presence of certain supporting evidence is calculated on the basis of the a priori probability of this hypothesis without supporting evidence and the likelihood of the evidence being carried out under the condition that the hypothesis is correct or incorrect.

The initial information of the knowledge base is the following structure:

Description of the knowledge base, the name of the author, a comment, etc. (can be in several lines; this information is displayed after loading the knowledge base; this section ends after the first empty line)

Question number 0 (any text that ends with line breaks)

Question number 1

Question number 2

Question No. N (the last question is followed by one blank line, and the second section ends)

Outcome 0, P [, i, Py, Pn]

Outcome 1, P [, i, Py, Pn]

Outcome 2, P [, i, Py, Pn]

Outcome N,P [, i, Py, Pn]

The last section lists the outcomes and the corresponding elements of the probability matrices. Each outcome is set on a separate line, the listing ends with the end of the file.

At the beginning of the description of the inference rule, an outcome is specified, the probability of which varies in accordance with this rule. This is text that includes any characters except commas. After the comma, the a priori probability of the given outcome is indicated P. After that, a comma goes through a series of repeating fields of three elements. The first element i is the number of the corresponding question. The next two elements are Pyij and Pnij, respectively, the probability of receiving an answer “Yes” to this question, if the possible outcome is correct and incorrect. These data are indicated for each question associated with a given outcome.

Note: P <= 0.00001 is considered to be equal to zero, and P> = 0.99999 - to one, therefore such values should not be indicated - the outcome with a similar prior probability will not be processed.

For example: (Applied to human health the initial information can be described as follows)

Influenza, 0.01, 1.0.9.0.01, 2.1.0.01, 3.0.0.01

It says here: there is an a priori probability P = 0.01 that any person taken at random has the flu.

The first question (i = 1) corresponds to the record "1.0.9.0.01". Hence, the values $Py_{i1} = 0.9$ and $Pn_{i1} = 0.01$, which means that if the patient has the flu, he will answer “Yes” to this question in nine cases out of ten, and if he does not have the flu, he will answer “Yes” Only in one case out of a hundred (i.e., this symptom is quite rare in other diseases). The answer “Yes” confirms the hypothesis that he has the flu. The answer "No" suggests that a person is not sick with the flu.

If the answer is yes (+5) to the first question, the a posteriori probability for the considered example will be:

$$Papr = \frac{Py_{ij} \cdot P_i}{Py_{ij} \cdot P_i + Pn_{ij} \cdot (1 - P_i)} = 0.47619.$$

If the answer is “No” (-5) to the first question is negative, the posterior probability for the considered example will be:

$$Ppst = \frac{(1 - Py_{ij}) \cdot P_i}{(1 - Py_{ij}) \cdot P_i + (1 - Pn_{ij}) \cdot (1 - P_i)} = 0.00102.$$

If the answer is “I do not know” (0), the posterior probability of the outcome is equal to the a priori.

In the case of an intermediate answer h (from -5 to 0 and from 0 to +5), the posterior probability is calculated taking into account the degree of confidence of the attribute and is calculated by linear interpolation from the values of affirmative answers "Yes", "No", "I do not know".

With a negative answer (-5; 0):

$$Ppst = P_i + (P_i - P_{apr}(notÅ)) \cdot \frac{h}{5}.$$

For example, with the answer h = -3:

$$Ppst=0.00461$$

With a negative answer (0; +5):

$$Papr = P_i + (P_{pst}(Å) - P_i) \cdot \frac{h}{5}.$$

For example, when answering h = +3:

Papr = 0.28971

For the second question, we have the entry "2,1,0.01." That is, if a person has the flu, then this symptom must be present (Pyi2 = 1) and he will definitely answer “Yes”. The corresponding symptom may occur in the absence of influenza (Pni2 = 0.01), but this is unlikely.

Note: With a large number of questions, it is not necessary to list all of them in the last section of the line, especially if the answer to any question does not affect the probability of the outcome.

Question 3 excludes the flu when the answer is “Yes”, because P (E / H) = 0. This could be a question like the following: “Do you have a given condition for most of your life?” - or something like that.

You need to think, and if you want to get good results, then conduct a study to establish reasonable values for these probabilities.

The values of P (E / H) and P (E / not H), substituted into Bayes theorem, allow us to calculate the posterior probability of the outcome, i.e. probability adjusted according to the user's answer to this question:

P (H / E) = P (E / H) * P (H) / (P (E / H) * P (H) + P (E / H) * P (H)) or

$P_{aposteriori}$ = Py * P / (Py * P + Pn * (1 - P))

The probability of a certain hypothesis H in the presence of certain supporting evidence E is calculated on the basis of the a priori probability of this hypothesis without supporting evidence and the likelihood of evidence being given under the condition that the hypothesis is true or incorrect.

Below there are possible outcomes of the computer component "power supply" diagnosis and the corresponding elements of the probability matrices. Each outcome is set on a separate line, the listing ends with the end of the file.

**Outcomes of the knowledge base**

1. proceed to video failure, 0.5, 1, 0.9, 0.1, 2, 0.1, 0.9

2. check power, 0.5, 1, 0.9, 0.1, 2, 0.9, 0.1, 4, 0.9, 0.1

3. use live outlet, 0.5, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.1, 0.9

4. premature power, 0.5, 1, 0.9, 0.1, 2, 0.9, 0.1, 4, 0.1, 0.9, 6, 0.9, 0.1

5. select proper voltage, 0.5, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.1, 0.9

6. proceed to motherboard, 0.5, 1, 0.9, 0.1, 2, 0.9, 0.1, 4, 0.1, 0.9, 6, 0.1, 0.9, 7, 0.9, 0.1

7. check manual, 0.5, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.1, 0.9

8. remove latest addition, 0.5, 1, 0.9, 0.1, 2, 0.9, 0.1, 4, 0.1, 0.9, 6, 0.1, 0.9, 7, 0.1, 0.9, 9, 0.9, 0.1

9. replace switch, 0.2, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.9, 0.1

10. remake motherboard, 0.2, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.1, 0.9

11. either you have, 0.2, 1, 0.5, 0.5, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.9, 0.1, 12, 0.9, 0.1, 14, 0.1, 0.9, 15, 0.9, 0.1

12. defective power, 0.2, 1, 0.5, 0.5, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.9, 0.1, 12, 0.1, 0.9, 13, 0.9, 0.1

13. replace power, 0.2, 1, 0.5, 0.5, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.9, 0.1, 12, 0.9, 0.1, 14, 0.1, 0.9, 15, 0.1, 0.9

14. strip system, 0.2, 1, 0.5, 0.5, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.9, 0.1, 12, 0.9, 0.1, 14, 0.9, 0.1

15. try drive in test PC, 0.2, 1, 0.1, 0.9, 3, 0.9, 0.1, 5, 0.9, 0.1, 8, 0.9, 0.1, 10, 0.1, 0.9, 11, 0.9, 0.1, 12, 0.1, 0.9, 13, 0.1, 0.9

After processing the data by the expert system, we get the results of the consultation.The purpose of the consultation is to determine the probabilities of possible outcomes.

**The result of the consultation (**the probabilities of outcomes indicated in parentheses):

**(**0.39343) check manual; (0.90000) check power; (0.96802) defective power; (0.99961) either you have; (0.99936) proceed to motherboard; (0.99912) premature power; (0.50000) proceed to video failure; (0.90679) remake motherboard; (0.68290) remove latest addition; (0.99022) replace power; (0.21277) replace switch; (0.21268) select proper voltage; (0.98375) strip system; (0.49490) try drive in test PC; (0.02976) use live outlet.

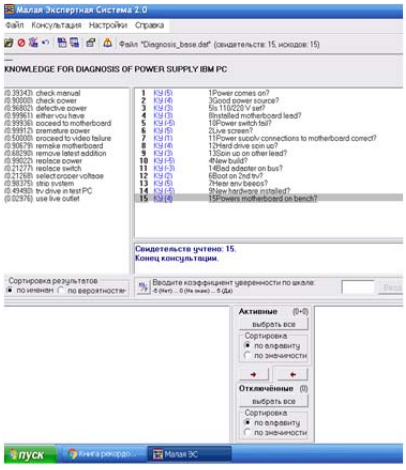



Fig. 3. Expert System Result

Applying the results of the expert system with the probability of a malfunction for each outcomes allows you to optimize the procedure for diagnosing the computer hardware components.

Figure 3 shows the result of the work of the expert system.

**Conclusion.** The expert system is a computer system that emulates the decision making ability of a human expert. The knowledge-base of the expert system is a computer software expert The proposed system use diagnosis flowchart and decision tree for design the knowledge-base. The expert system use a Bayesian inference system that is intended for consultation with the user in any application area for the loaded knowledge base. During the interviews, questions appear and the user responds by keeping in answers or important data. Then, utilizing the user s response the system searches its knowledge base. It systematically searches through the various paths for a solution without becoming lost in the vast numbers of possibilities. Eventually the program comes up with the advice and communicates it to the user. After processing the data by the expert system, we get the results of the consultation. The purpose of the consultation is to determine the probabilities of possible outcomes.

**References**

1. Krivoulya G., Dudar Z., Kucherenko D., and Sami M. Fuzzy expert system for diagnosis of computer failures," in 10th International Conference - The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics CADSM., 2009.
2. Lechner W. Diagnosis and Maintenance of Computer Hardware Failures, Computer Era, no. 5, p. 014, Jul. 2011.
3. Mandal S., Chatterjee S., and Neogi B., Diagnosis And Troubleshooting Of Computer Faults Based on Expert System and Artificial Intelligence, International Journal of Pure and Applied Mathematics, vol. 83, no. 5, pp. 717–729, 2013.
4. Krivoulya G. F.,. Shkil A. S, Kucherenko D. Ye.. Analysis of production rules in expert systems of diagnosis. Automatic Control and Computer Sciences. – 2013. − Vol. 47. − №6. − P. 331-341.
5. Saad A., Al A., Hussaini S. M., and Jilani A. K., Empirical Model using Expert System Techniques in Hardware Failure of a System during Backup of Data, International Journal of computer Science and Network Security, vol. 13, no. 2, pp. 53–59, 2013.
6. Mazlina Md M., Shibghatullah A.S., Basari A.S.H., Hussin B. Diagnosing computer hardware failures using expert system (Rule-Based Technique) International Symposium on Research in Innovation and Sustainability 2014 (ISoRIS ’14) 15-16 October 2014, Malacca, Malaysia
7. Alonzo A.L.D.C., Campos J.J.M., Layco L.L.M., Maratas C.A., and Sagum R.A. ENTDEx: ENT Diagnosis Expert System Using Bayesian Networks. Journal of Advances in Computer Networks, Vol. 2, No. 3, September 2014
8. Krivoulya G., Shkil A., Kucherenko D., Lipchansky A., Sheremet Ye.. Expert evaluation model of the computer system diagnostic features. EWDTS'2014: Proc. of international conf., 26-29 September, 2014. – Kiev, Ukraine, 2014. – P. 286-289

9. Decision tree using flow chart symbols <https://wiki.eecs.yorku.ca/course_archive/2014-15/F/4412/_media/decision_trees.pdf>
10. Rosenthal M. Computer Repair with Diagnostic Flowcharts. 3rd Edition. Foner Books. 2013. 170 pages.
11. Mini Expert System [Online]. Available. *http*://www.chat.*ru/~bukhnin/*
12. Rule-Based System. [Online]. Available: http://www.webopedia.com/TERM/R/ rule_based_system.html
13. Russell S. and Norvig P. (2010). Artificial Intelligence Modern Approach.(3rd edition). [online]. Available: www.pearsonhighered.com [Oct., 2015].
14. Ergado A.A. Self learning computer troubleshooting expert system, International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA), Vol. 7, No. 1, January 2016.
15. Negnevitsky M. A Guide to Intelligent Systems Second Edition. Addison Vesley. 2005. 415pp.

**Кривуля Г.Ф., Щербак В.К. Проектування бази знань для діагностики комп'ютерних компонентів з використанням блок-схем**

*У статті пропонується процедура створення бази знань для діагностики комп'ютерних компонентів з використанням блок-схем і методу Байеса. Інтелектуальна експертна система автоматизує процес технічного обслуговування, ремонту і звільняє технічний персонал від ручного виконання рутинних, трудомістких завдань з обслуговування комп'ютерних компонентів. Експертна система виявляє різні апаратні збої, а також дає рекомендації по їх можливої корекції. Продукційні правила пропонованої експертної системи виконуються у вигляді операцій «якщо-то». Експертна система веде діалог з користувачем, отримує дані про проблему і ставить запитання в процесі консультацій з користувачем. Під час консультації на екрані комп'ютера з'являються питання; користувач відповідає, зберігаючи відповіді або важливі дані. Експертна діагностична система готує відповідь користувачеві з використанням байєсівського методу і бази знань. Застосування виданих експертної системи ймовірностей для кожної несправності дозволяє оптимізувати процедуру діагностики компонентів комп'ютерного обладнання*

***Ключові слова:*** *діагностика, система знань, експертна система, блок-схема, байєсівський метод*

**Кривуля Г.Ф., Щербак В.К. Проектирование базы знаний для диагностики компьютерных компонентов с использованием блок-схем**

*В статье рассмотрена процедура создания базы знаний для диагностики компьютерных компонентов с использованием блок-схем и метода Байеса. Интеллектуальная экспертная система автоматизирует процесс технического обслуживания, ремонта и освобождает технический персонал от ручного выполнения рутинных, трудоемких задач по обслуживанию компьютерных компонентов. Экспертная система обнаруживает различные аппаратные сбои, а также дает рекомендации по их возможной коррекции. Продукционные правила экспертной системы выполняются в виде операций «если-то». Экспертная система ведет диалог с пользователем, получает данные о проблеме и задает вопросы в процессе консультаций с пользователем. Во время консультации на экране компьютера появляются вопросы; пользователь отвечает, сохраняя ответы или важные данные. Экспертная диагностическая система готовит ответ пользователю с использованием байесовского метода и базы знаний. Применение выданных экспертной системы вероятностей для каждой неисправности позволяет оптимизировать процедуру диагностики компонентов компьютерного оборудования*

***Ключевые слова****: диагностика, система знаний, экспертная система, блок-схема, байесовский метод*

**Кривуля Геннадій Федорович** – д.т.н., професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки Харківського національного університету радіоелектроніки; професор кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, email: krivoulya@i.ua
**Щербак Владислав Костянтинович –** аспірант кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки Харківського національного університету радіоелектроніки

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Рязанцев О.І.***

Стаття подана 23.11.2018

УДК 004.657

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ БД

**Кучмистий О.Г., Нестеров М.В., Скарга-Бандурова І.С.**

# RESEARCH METHODS OF DATABASE PERFORMANCE OPTIMIZATION

**Kuchmysyi O.H., Nesterov M.V., Skarga-Bandurova I.S.**

*Стаття присвячена вивченню методів оптимізації баз даних у вже існуючих системах. Це складне завдання, тому що, в кінцевому рахунку, вимагає повне розуміння системи в яку входить БД. В окремих випадках для виконання локальної оптимізації досить знати частину системи, проте щоб зробити її більш оптимальною, потрібно розбиратися в тому, як вона влаштована. У цій статті будуть розглянуті різні способи оптимізації MySQL і представлені деякі приклади її виконання. Не слід забувати, однак, що завжди можна знайти деякі додаткові можливості і зробити систему ще швидше.*

***Ключові слова:*** *база даних, оптимізація, SQL запити, підвищення продуктивності існуючих систем.*

**Вступ.** Стрімко зростаючий попит на збір даних та динамічний розвиток бізнесу, призвели до появи проблем, що постійно з'являються на рівні функціонування баз даних. Бази даних використовуються в різноманітних областях застосування і пропонують зберігання складних, як правило, багатовимірних об'єктів. Велика кількість зібраних даних є лише однією проблемою із існуючих. Не менш важливі фактори це збільшення кількості користувачів, розвиток системи шляхом додавання нової функціональності, інтеграція з зовнішніми системами, проблеми з підтримкою серверів, неправильно спроектована схема бази даних и т.п.

Оскільки великі виробничі системи, як правило, мають дуже тривалий життєвий цикл і кількість їх компонентів дуже часто підраховується тисячами, не так рідко зустрічаються додаткові помилки. Велике значення має виявлення таких проблеми та їх своєчасне вирішення.

**Аналіз літератури.** Під час вивчення матеріалу з інших джерел було виявлено ряд особливостей оптимізації роботи баз даних. Найбільш поширена проблема знаходиться на рівні проектування моделі бази даних [1]. Помилки під час цього етапу чи зміни в результаті розробки системи, дуже часто виявляють недоліки моделі [2]. Інший дуже важливий аспект це невірна структура даних, занадто велика індексація стовпців [6]. Дуже висока динаміка та зростання бази даних в поєднанні з багатьма іншими показниками можуть помітно впливати на виконання інструкцій INSERT, UPDATE і DELETE [6]. Деякі проблеми продуктивності виникають через недбале використання тригерів бази даних [8]. Це потужний механізм, який дозволяє автоматизувати процеси. Однак це також може спричинити серйозні проблеми із базою даних, які досить важко виявити в існуючій системі [3].

**Метою цієї статті** є опис проблем і запропонування можливих підходів до їх вирішення. Ці аспекти описані в контексті реальної існуючої системи, побудованої на базі MySQL Server. Однак варто зазначити, що розглянуті механізми, проаналізовані в роботі, можна застосувати на будь-якому сервері баз даних.

**Основна частина**

**Низька продуктивність запитів.** Одна з проблем, що найбільш часто зустрічається в робочих системах - повільна робота у місцях функціонування базових операції. Однією з таких операцій є пошук. Цей крок зазвичай ініціює бізнес-процес. Під час тестів, які зазвичай проводяться на невеликій базі даних, ця проблема не розкривається і відповідно запобіжні заходи не виправлять цю ситуацію.

Розглянемо процедуру пошуку клієнтів у базі даних. З розвитком системи кількість клієнтів в базі даних значно зросла, що вплинуло на час, необхідний для пошуку певного запису.

Наприклад, ми маємо базу даних, в якій зберігається приблизно 1 000 000 даних про клієнтів. Ідентифікація клієнта може здійснюватися за допомогою імені або чисел. Проблема занадто довгих запитів була виявлена під час пошуку за ідентифікаційними номерами. Таблиця 1 описує структуру таблиці «CLIENTS» в базі даних.

Таблиця 1

**Структура таблиці CLIENTS**

| Назва колонки | Тип колонки | Обмеження |
|---|---|---|
| ID | NUMBER(10) | Первинний ключ |
| NAME | VARCHAR(30) | - |
| SURNAME | VARCHAR(30) | - |
| AGE | NUMBER(3) | - |
| ID_DOC_NO | NUMBER(20) | Зовнішній ключ що посилається на DOCUMENTS |

Конструкція SELECT для пошуку по таблиці CLIENTS може бути записана наступним чином:

```
SELECT * FROM CLIENTS WHERE ID = :CLIENT_ID;
```

Відповідно план запитів, представлений на рис. 1, та статистичні запити були зібрані в першому рядку табл. 2.

Як можна помітити, план запиту не є оптимальним, тому що для кожного запиту потрібен двигун бази даних для повного сканування таблиці.

Це впливає на велику кількість дискових зчитувань і на використовуванні буферу. Варто зазначити, що незважаючи на те, що час виконання не довгий, отримані статистичні дані не є задовільними, оскільки слід враховувати кількість запитів на день та одночасні тривалі сесії. Крім того, зростання кількості клієнтів призведе до деградації показників.

Таблиця 2

**Статистика запитів для таблиці CLIENTS**

| Тип запиту | Час (сек.) | Зчитування диску | Використання буферу |
|---|---|---|---|
| Без використання індексів | 1.8 | 64 630 | 128 771 |
| З індексами | 0.01 | 86 | 12 |

Для покращення ефективності пошуку єдиним можливим рішенням є встановлення індексів в стовпці, на якому виконується пошук, за допомогою наступного синтаксису:

```
CREATE INDEX CLIENTS_INDX1 ON CLIENTS(NAME);
```

Це рішення не призводить до зміни логіки застосування. Побічними ефектами створення індексів є: додаткове місце на диску та збільшення часу модифікації та додавання нових елементів. Проте завантаження нових даних в систему, як правило, виконується у фоновому режимі, а модифікація їх відбувається досить рідко. Цей підхід не викликає помітного або різкого падіння продуктивності для інших операцій.

План запиту для пошуку в таблиці CLIENTS з використанням визначеного індексу був змінений оптимізатором, а кількість запитів була зменшена в 70 разів. Середня тривалість запитів після введення індексу для незалежних операцій пошуку показана у другому рядку таблиці 2.

Оптимізація запитів шляхом побудови індексів призвела до зменшення в 700 разів читання буфера для одержання однакових результатів. Єдиним побічним ефектом додавання нового індексу був дисковий простір - 204 Мб.

**Низька продуктивність join – запитів.** Інше питання, що розглядається як проблема трапляється при використанні реляційної системи бази даних. Це об'єднання двох або більше великих таблиць.

Розглянемо звіт про продажі, згрупованих за віком клієнтів. Він базується на таблицях «CLIENTS» (див. таблицю 1) та «SALES_HISTORY» (див. таблицю 3), що містить близько 4 000 000 записів. Приєднана операція базується на колонці «CLIENT_ID», яка вказується в таблиці «CLIENTS». Звіт зазвичай створюється для віку від 15 років. Під час виконання запиту було помічено що на обробку потрібно забагато часу, і тому необхідно провести оптимізацію.

Таблиця 3

**Структура таблиці SALES_HISTORY**

| Назва колонки | Тип колонки | Обмеження |
|---|---|---|
| ID | NUMBER(10) | Первинний ключ |
| SALE_DATE | DATE | - |
| CLIENT_ID | NUMBER (10) | Зовнішній ключ що посилається на CLIENTS |
| TOTAL_AMOUNT | NUMBER (10,4) | - |

Щоб прискорити операцію приєднання, можна зменшити вхідні параметри звіту. [2] Тобто змінити нижню та верхню межу віку або часові рамки. Такий підхід змінює функціональність системи і тому має розглядатися як крайній засіб. Більше того, це не подолає проблему, а просто зменшує вплив факторів, які її формують.

Для підвищення ефективності запиту аналізуються характеристики даних, які зазвичай вибираються для запиту. Було встановлено, що вік розподілу клієнтів зазвичай є однорідним і становить від 20 до 40 років. Тому можна припустити, що у звіті використовується понад 50% відсотків таблиці «CLIENTS» для визначення діапазону клієнтів. З огляду на характеристику даних, план запитів повинен бути проаналізований, щоб визначити, чи є він оптимальним чи ні.

```
SELECT * FROM CLIENTS CL, SALES_HISTORY SH WHERE
CL.CLIENT_ID = SH.CLIENT_ID AND CL.AGE >= 22 AND
CL.AGE <= 36;
```

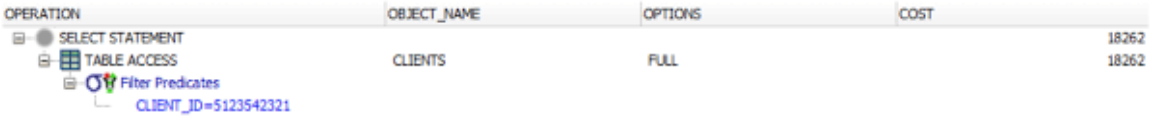



Рис. 1. План запиту для конструкції SELECT без використання індексів [1]

Таблиця 3

**Результат виконання операції EXPLAIN**

| ID | Select type | Table | Type | Possible keys | Key | Key len | Ref | Rows | Extra |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SIMPLE | CL | ALL | NULL | NULL | NULL | NULL | 1 | Using where |
| 1 | SIMPLE | SH | ALL | NULL | NULL | NULL | NULL | 1 | Using where; Using join buffer (flat, BNL join) |

Для більш повного аналізу пропонується розглянути результати виконання операції EXPLAIN. Ця операція використовується в різних реляційних базах даних і містить інформацію про те,

Перший рядок таблиці 4 відображає час обробки запитів, зчитування диску та використання буфера. як SQL двигун виконує запит.

Таблиця 4

**Статистика запиту для з'єднання таблиць CLIENTS та SALES_HISTORY**

| Тип запиту | Час, сек | Зчитування диску | Використ. буферу | Вартість запиту |
|---|---|---|---|---|
| Без індексів | 240 | 518 485 | 6 311 813 | 70 345 256 |
| З індексами | 120 | 165 061 | 1 485 492 | 32 315 199 |
| З HASH індексом | 33 | 223 673 | 165 196 | 186 981 |

Давайте розглянемо створення індексу таблиці SALES_HISTORY, щоб запобігти повному доступу до таблиці. Для цього потрібно впевнитися що CLIENT_ID є унікальним і зв'язаний з таблицею CLIENT та атрибутом ID. Створення індексу зменшило вартість і час запиту, а також зчитування диску та використання буферу, але вони залишаються дуже високими. Це пов'язано з специфікою даних, оскільки це приєднання відноситься до більш ніж 50% даних. Крім того, індекс займає 740 Мб дискового простору, і тому будь-які оновлення можуть бути дуже помітними.

Розглядаючи план запитів та характеристики даних, на яких він працює, ми можемо констатувати, що проблема полягає в об'єднанні вкладеного циклу. Запит виконується на великих обсягах даних, і тому приєднання по хешу виглядає більш оптимальним. Щоб оптимізувати такий запит, було використано HASH індекс, при цьому вартість запиту значно знизилася. Треба відмітити що використання такого типу індексів можливе тільки для наступних типів двигуна БД: MEMORY/HEAP, NDB.

Як бачимо, незважаючи на показники, двигун бази даних вибрав повну перевірку обох таблиць [4]. Це найбільш сприятливе, оскільки в більшості випадків ми використовуємо більше 50% даних, тому більша частина таблиці завантажується в пам'ять з блоків даних. Якщо оптимізатор використовував індекс, йому потрібно буде виконати повне сканування, а потім передавати дані за рядком. Як результат, вся таблиця буде завантажена в пам'ять, а час буде значно збільшуватися [2]. Отже, індекс CLIENT_ID, визначений для таблиці SALES_HISTORY, непотрібний і може бути видалений.

Порівняно з варіантом з індексом, на 1/3 більше загальних дискових зчитувань, але кількість використання буферу зменшується в 10 разів, що сприяє збільшенню часу виконання запиту. З точки зору бізнесу, рішення не викликає жодних ризиків, оскільки в логічному слою запити не були змінені.

**Несподіване зниження продуктивності.** Проблема періодичного падіння продуктивності дуже поширена в контексті існуючих систем. Вони можуть відрізнятися, тому важливо точно визначити, яка операція в базі даних є проблемною. Експериментальні дослідження показали який запит є проблемним. Процедура GET_QTY відповідальна за тимчасові затримки. Процедурний кодекс виглядає таким чином:

```
CREATE OR REPLACE PROCEDURE GET_QTY(store_number IN
NUMBER, product IN NUMBER, qty OUT NUMBER)
AS
BEGIN
        SELECT qty INTO qty FROM STORE_ITEM
        WHERE store_id = store_number AND
product_id = product;
END;
```

Процедура виконує лише один запит у таблиці STORE_ITEM. Структура таблиці представлена в таблиці 5. Було створено індекс STORE_ITEM_I1. Зміст таблиці містить близько 600 000 записів даних.

Таблиця 5

**Структура таблиці STORE_ITEM**

| Назва колонки | Тип колонки | Обмеження |
|---|---|---|
| STORE_ID | NUMBER(10) | Унікальний індекс створений для STORE_ITEM_I1 |
| PRODUCT_ID | NUMBER(20) | Зовнішній ключ, що посилається на табл. RODUCTS |
| QTY | NUMBER(30) | - |

Аналіз проблеми, виконаної на момент дослідження показав, що план запиту був виконаний несприятливим чином. У цьому випадку оптимізатор використовував індекс, який був ефективним для невеликих частин табличних даних. На жаль, інший пошук для більшої вибірки також використовував індекс, оскільки запит вже зберігався в кеш-пам'яті бази даних. Якщо запит не був розміщений у кеш-пам'яті бази даних, а план був встановлений з нуля, існували великі шанси, що план буде правильно налаштовано, і сама операція триватиме довго. Можливо, при проектуванні цього розділу системи передбачалося, що розподіл продуктів у магазинах рівномірно розподілений і характеризується високою селективністю, і тому були створені індекси STORE_ID та STORE_ITEM_I1. Однак, це показало, що припущення було неправильним і, в деяких випадках, можуть спричинити більше проблем, ніж переваг.

Ми можемо розглянути три різні способи вирішення цієї проблеми:

- видалити проблемний індекс STORE_ITEM_I1;
- примусити робити повне сканування таблиці для кожного оператора вибору;
- створення нового індексу, який буде більш придатним для всіх виділених заяв.

Перше з наведених вище рішень є найбільш трудомістким та небезпечним у контексті існуючої системи, оскільки видалення індексу в складних системах може спричинити проблеми продуктивності та інтеграції в інших частинах системи. Оскільки виробничі системи, як правило, є багатофункціональні, і їх розробка та підтримка потребує багатьох людей, цей підхід слід відхилити [1].

Примусове сканування таблиці не веде до комерційного ризику. Це рішення повністю виключить проблему продуктивності. Проте повне сканування збільшить час вибору з меншого набору даних. Тим не менш, час підйому від 0,003 до 0,26 секунди буде незначним [5]. Навіть якщо число користувачів збільшиться, двигун MySQL досить розумний, щоб кешувати подібні, досить навантажені, запити.

Найкращим варіантом може бути створення індексу, який включатиме стовпці STORE_ID і PRODUCT_ID [1].

Можна помітити, що індекси мають помітний вплив на час виконання, а також зчитування диска та використання буферу. Вартість запиту значно зменшилася через те, що за допомогою індексу двигун бази даних точно знає, які блоки даних повинні посилатись на завантаження отриманих даних. Тому з диска відсутні надмірні зчитування. Однак, враховуючи те, що пошукові операції виконуються багаторазово в системі, можна стверджувати, що завантаження всієї таблиці також є корисним. Це пов'язано з тим, що кожен наступний пошук, скоріш за все, скористається таблицею, яка вже завантажена в буфер, або, в крайньому випадку, зчитає лише невелику частину таблиці з диска.

**Пакетна обробка даних.** Пакетна обробка - це дуже поширена проблема в робочих системах. Вона зосереджується на завантаженні та, в деяких випадках, обробці вхідних даних з зовнішніх систем. Обсяги даних часто дуже великі, і їх завантаження або обробка повинні бути закінчені протягом короткого часу.

Розглянемо процес, який завантажує зовнішні дані, доповнені певними атрибутами, на основі цільової системи. Оскільки обсяг вхідних даних та таблиці великий, потрібна оптимізація. Варто зазначити, що дані не є критичними з точки зору бізнесу. Крім того, невелика зміна логіки прийнятна, оскільки дані перевіряються після завантаження.

У системі є 1 000 000 найменувань і 10 місць. Кожен елемент є в ієрархії і має батька. Багато предметів може мати одного й того ж батька. Структурні таблиці представлені у таблицях 7, 8 та 9. Щомісяця завантажується файл, в якому входять всі елементи з кількістю одиниць, що продаються з кожного місця. Ці елементи призначені для будь-якого батька, і їх необхідно об'єднати з відповідними записами з таблиці ITEMS. Неможливо виконати одну операцію UPDATE, оскільки ця система отримує щомісяця близько 4 000 000 даних.

Таблиця 7

**Структура таблиці ITEMS**

| Назва колонки | Тип колонки |
|---|---|
| ITEM_ID | NUMBER(20) |
| ITEM_PARENT | NUMBER(20) |
| DESCRIPTION | VARCHAR(200) |

Таблиця 8

**Структура таблиці LOCATIONS**

| Назва колонки | Тип колонки |
|---|---|
| ITEM_ID | NUMBER(20) |
| ITEM_PARENT | NUMBER(20) |
| DESCRIPTION | VARCHAR(200) |

Запит, що оновлює дані, можна записати таким чином:

```
UPDATE EXTERNAL_SALE scp SET ITEM_PARENT = (SELECT
ITEM_PARENT FROM ITEMS I WHERE I.ITEM_ID =
SCP.ITEM_ID)
```

Таблиця 9

**Структура таблиці EXTERNAL_SALE**

| Назва колонки | Тип колонки |
|---|---|
| ITEM_ID | NUMBER(20) |
| LOCATION | NUMBER(20) |
| ITEM_PARENT | NUMBER(20) |
| QTY | NUMBER(3) |

Запит, виконаний для повного діапазону даних 40 000 000, не закінчився протягом 70 хвилин. Подальше очікування виконання запиту марно і не може бути продовжено. Крім того, він несе ризик помилки бази даних через відсутність табличного простору.

Одне з рішень полягає в тому, щоб розділити весь діапазон даних для менших підмножин і повторити одну й ту ж дію для кожного з них. Вся операція була розділена на частини з будівництва так званих BULK COLLECT. Крім того, пропозиція FORALL використовується для того, щоб виконати оновлення всієї підмножини, і COMMIT додано для запобігання проблемам з відмовою табличного простору. [2] Код програмування був визначений таким чином:

```
DECLARE
        CNT NUMBER := 1;
        CURSOR SCOPE_CUR IS
        (SELECT ROWID, ITEM_ID FROM EXTERNAL_SALE);
        TYPE rowid_type IS TABLE OF rowid;
        ROWID_TAB ROWID_TYPE;
        TYPE ITEM_TYPE IS TABLE OF
        EXTERNAL_SALE.ITEM_ID%TYPE INDEX BY
PLS_INTEGER;
        ITEM_TAB ITEM_TYPE;
BEGIN
        OPEN SCOPE_CUR;
        LOOP
        FETCH SCOPE_CUR BULK COLLECT
        INTO ROWID_TAB, ITEM_TAB LIMIT 100000;
        FORALL I IN ROWID_TAB.FIRST..ROWID_TAB.LAST
        UPDATE external_sale scp SET ITEM_PARENT =
        (SELECT ITEM_PARENT FROM ITEMS I
        WHERE I.ITEM_ID = item_tab(i))
        WHERE SCP.ROWID = ROWID_TAB(I);
        IF(MOD(CNT, 10) = 0) THEN
        COMMIT;
        END IF;
        CNT := CNT + 1;
        EXIT WHEN ROWID_TAB.COUNT = 0;
        END LOOP;
        COMMIT;
END;
```

Таблиця 10 показує статистику оновлення даних, що виконуються за допомогою єдиного виразу SQL та BULK COLLECT.

Таблиця 10

**Статистика UPDATE запиту**

| Тип | Час виконання | Зчитування диску | Використання буферу |
|---|---|---|---|
| UPDATE | 4200 (незакінч.) | - | - |
| BULK COLLECT | 960 | 460 596 | 126 939 278 |

Можна помітити, переглядаючи табл. 10, що оптимізована команда BULK COLLECT, читає необхідні дані з диску, а потім обробляє їх за допомогою буферу [1].

**Висновок.** Розвиток існуючих інформаційних систем передбачає необхідність розробки та вдосконалення механізмів оптимізації баз даних. Методи оптимізації, описані в роботі, є достатніми для визначення та вирішення дефіциту продуктивності. Доступні оптимізаційні механізми допомагають мінімізувати ризики, пов'язані з тим, що система працює у виробничих середовищах. Підхід до кожної проблеми має відповідати загальним правилам, але також слід приймати окремі міркування та конкретний аналіз ситуації. Єдині процедури оптимізації всіх проблем можуть призвести до їх неправильної класифікації, а отже до неправильного методу їх вирішення. Контекст існуючої системи викликає суттєві обмеження щодо доступних методів оптимізації баз даних. Бізнес ризики, пов'язані з підривом стабільності робочої системи, є важливим фактором у остаточному виборі методів. Як правило, оптимізація спрямована на зменшення кількості конкретних ресурсів, необхідних для отримання результату, що впливає на час виконання для SQL-запитів або частин коду.

**Література**


1. Powell, G., Oracle Performance Tuning for 10gR2, Elsevier Inc., 2007.
2. Koper, R., Analysis of the database optimization methods in the context of existing systems, Master's thesis, Lodz University of Technology, 2015.
3. David Kroenke, David Auer. Database Concepts (3rd Edition). – M.: , 2007.
4. Michael Widenius. MySQL Reference Manual. – M.: , 2002.
5. Hugh E Williams. Web Database Applications with PHP & MySQL. – M.: , 2002.
6. Darl Kuhn, Sam R. Alapati and Bill Padfield, Expert Oracle Indexing and Access Paths, Apress Inc., 2016.
7. Ibrar Ahmed, Gregory Smith, Enrico P., PostgreSQL 10 High Performance, Amazon Digital Services LLC, 2017.
8. Benjamin Nevarez, High Performance SQL Server, Apress Inc., 2016.


**References**


1. Powell, G., Oracle Performance Tuning for 10gR2, Elsevier Inc., 2007.
2. Koper, R., Analysis of the database optimization methods in the context of existing systems, Master's thesis, Lodz University of Technology, 2015.
3. David Kroenke, David Auer. Database Concepts (3rd Edition). – M.: , 2007.
4. Michael Widenius. MySQL Reference Manual. – M.: , 2002.
5. Hugh E Williams. Web Database Applications with PHP & MySQL. – M.: , 2002.
6. Darl Kuhn, Sam R. Alapati and Bill Padfield, Expert Oracle Indexing and Access Paths, Apress Inc., 2016.
7. Ibrar Ahmed, Gregory Smith, Enrico P., PostgreSQL 10 High Performance, Amazon Digital Services LLC, 2017.
8. Benjamin Nevarez, High Performance SQL Server, Apress Inc., 2016.

**Кучмистый А.Г., Нестеров М.В., Скарга-Бандурова И.С. Исследование методов оптимизации производительности БД**

*Статья посвящена изучению методов оптимизации баз данных в уже существующих системах. Это сложная задача, потому что, в конечном счете, требует понимания системы в целом. В отдельных случаях для выполнения локальной оптимизации достаточно знать часть системы или приложения, однако чтобы сделать систему более оптимизированной, нужно разбираться в том, как она устроена. В этом материале будут рассмотрены различные способы оптимизации MySQL и представлены некоторые примеры ее выполнения. Не следует забывать, однако, что всегда можно найти некоторые дополнительные возможности и сделать систему еще быстрее.*

***Ключевые слова:*** *база данных, оптимизации, SQL запросы, повышение производительности существующих систем.*

**Kuchmystyi O.H., Nesterov M.V., Skarga-Bandurova I.S., Research methods of database performance optimization**

*The article is devoted to the study of database optimization methods in existing systems. This is a difficult task, because, it requires an understanding of the system as a whole. In some cases, to perform local optimization is enough to know part of the system or application, but to make the system more optimized, you need to understand how it works. This material will look at various ways to optimize MySQL and present some examples of its implementation. We should not forget, however, that you can always find some additional features and make the system even faster.*

***Key words:*** *database, optimizations, SQL queries, improving the performance of existing systems.*

**Кучмистий Олександр Георгійович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: alexandrk95@gmail.com

**Нестеров Максим Володимирович,** ст. викл. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: mnesterov@snu.edu.ua

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

*Рецензент:* д.т.н., доц. ***Горбунов М.І.***

Стаття подана 29.10.2018

УДК 004.056

# ЗАСОБИ АУТЕНТИФІКАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

**Лигін Ю.О., Шумова Л.О.**

# MEANS FOR USER AUTHENTICATION IN COMPUTER SYSTEM BASED ON INFORMATION MODELS

**Lyhin Y.O., Shumova L.O.**

*У статті розглянуто можливі способи аутентифікації користувачів у багатокористувальницьких комп'ютерних системах. Докладно розглянута можливість аутентифікації користувача шляхом аналізу його клавіатурного почерку, а саме досліджено алгоритм, який аналізує клавіатурний почерк після введення додаткового текстового фрагменту або фрази.*

***Ключові слова:*** *захист інформації, пароль, біометрична аутентифікація, клавіатурний почерк, парольна фраза.*

**Вступ.** Більше 20 років аутентифікація стоїть на першому рубежі контролю дозволеного доступу до інформації. Серед основних переваг захисту за допомогою аутентифікації можна відзначити її звичність і простоту. Проблеми аутентифікації розглядались у роботах таких вчених, як Гейнс (1980 р.) [1], Леггет і Вільямс [2], Расторгуєв [3], Сміт [4]. Класичним методом аутентифікації користувачів є використання унікальної інформації - пароля, який відомий користувачеві і який він пред'являє під час аутентифікації. Але за статистикою 80% інцидентів несанкціонованого доступу в сфері інформаційної безпеки трапляються внаслідок використання слабких паролів - до такого висновку прийшла компанія Trustwave за результатами власного дослідження, яке було проведене ще у 2011 році у ряді компаній у 18 регіонах світу. Головний висновок, зроблений в результаті: слабкі паролі користувачів - найбільш вразливе місце, яке використовують зловмисники.

Для створення пароля зазвичай ставиться безліч обмежень: певна кількість і склад символів, неможливість (небажаність) використання дат, слів, які можна знайти в словнику Застосування складних паролів призводить до їх недбалого зберігання у вигляді робочих записів, часто наочних, наприклад, у вигляді стікерів на робочому місці, тому зловмисникові не складе особливих труднощів отримати ці відомості. Виникає проблема такої аутентифікації, яка забезпечувала би більш надійний багаторівневий доступ до інформації, тобто крім пароля має використовуватись ще якийсь засіб, а може декілька засобів перевірки автентичності користувача.

Тому розробка засобів аутентифікації, що базуються на використанні особистих характеристик користувачів і забезпечують достатню точність, надійність, простоту реалізації є актуальними.

**Постановка проблеми.** Класичний метод доступу до інформації за допомогою пароля найпоширеніший. Він простий і дешевий в реалізації, але і більш ненадійний. При порушенні конфіденційності пароля повністю порушується захист інформації власника [5].

Ще один розповсюджений метод аутентифікації заснований на володінні користувачем деяким унікальним предметом (ключ, смарт-карта, токен), який він пред'являє системі. Даний метод має той же недолік, що і класичний: в разі втрати або крадіжки аутентифікаційного предмета повністю порушується захист інформації. Крім того, такий метод дорожче в реалізації, тому що потрібне спеціальне обладнання для розпізнавання предмета, використовуваного при аутентифікації. Унікальні предмети також необхідно виготовити, що пов'язано з деякими витратами [6].

Для усунення зазначених недоліків при аутентифікації можна використовувати біометричні характеристики користувача. Біометрія дозволяє ідентифікувати користувачів, спираючись на їх поведінкові і фізіологічні характеристики. До фізіологічних характеристик можна віднести відбитки пальців, риси обличчя, геометрію долонь, вушних раковин, сітківку ока і т.і. [7]. Поведінкові характеристики включають почерк людини, ходу, тембр голосу, швидкість набору тексту на клавіатурі [8]. Якщо визначення користувача за допомогою сканування сітківки ока досить дорогий спосіб, в зв'язку з вартістю обладнання, то ідентифікація користувача за клавіатурним почерком - дешевий і досить простий для реалізації варіант, так як для такої системи не потрібно додаткового обладнання.

Потрібен стандартний набір периферійних пристроїв, які має в своєму розпорядженні будь-який персональний комп'ютер - клавіатура і монітор. А в якості системи безпеки буде виступати програмний продукт, розробка якого і представляє основну складність. Аутентифікація за клавіатурним почерком - метод, що забезпечує високу в порівнянні з іншими методами точність, зручність застосування і неможливість відмови від факту авторства.

Існуючі програмні реалізації методів розпізнавання клавіатурного почерку характеризуються недостатньою достовірністю ідентифікації і аутентифікації і високою ймовірністю виникнення помилок першого і другого роду. Внаслідок цього актуальна розробка нових моделей, методів, алгоритмів розпізнавання клавіатурного почерку і їх програмних реалізацій, що підвищують точність і якість функціонування систем ідентифікації і аутентифікації.

**Метою статті** є визначення особливостей аутентифікації по біометричним параметрам особистості, а саме по клавіатурному почерку користувача при введенні ним парольних даних.

Для цього потрібно вирішити наступні задачі:

– провести аналіз особливостей введення користувачем коротких фраз;

– реалізувати методику фільтрації авторського введення від неавторського;

– запропонувати модель управління доступом з процедурою аутентифікації користувача.

**Результати досліджень.** На сьогоднішній день існує три алгоритму біометричної аутентифікації за клавіатурним почерком:

– алгоритм, що аналізує клавіатурний почерк під час введення паролю;

– алгоритм, що аналізує клавіатурний почерк після введення додаткового текстового фрагмента або фрази;

– алгоритм, який постійно проводить прихований моніторинг клавіатурного почерку користувача [9].

Перший алгоритм має найбільш високу швидкодією в порівнянні з іншими алгоритмами, тому що для отримання біометричних даних користувачеві необхідно ввести тільки пароль. Але не можна дати гарантію в точності аутетифікації, якщо пароль занадто короткий. Зазвичай пароль складається з 10-30 символів. Крім того, неможливо виявити підміну користувача в разі, якщо користувач пройшов аутентифікацію в системі і залишив робоче місце без нагляду, в той час як зловмисник зайняв його місце для корисливих цілей. З цих причин потрібні додаткові засоби перевірки автентичності користувача.

Другий алгоритм, який аналізує клавіатурний почерк після введення додаткового текстового фрагмента або фрази, в свою чергу, має перевагу перед першим алгоритмом у вигляді високої точності аутентифікації [10]. Але для введення додаткової фрази або текстового фрагмента, довжина яких часто перевищує 1000 символів, потрібно досить багато часу. Також ця процедура може викликати у користувача негатив через можливе часте проходження процедури аутентифікації з введенням довгого фрагмента тексту.

Для роботи даного алгоритму необхідно застосування ймовірнісно-статистичного методу, тобто збір статистики з вибірки тимчасових значень. Безпосередньо елементом вибірки є час утримання клавіші. Еталонна модель користувача створюється в режимі навчання. В цьому режимі збираються статистичні дані про натискання кожної клавіші. В результаті формується тривимірна таблиця, що складається з N стовпців, де N - кількість натиснутих клавіш (табл. 1).

Також визначається кінцеве число натискань певної клавіші k, де k - кількість натискань, дані про які необхідно створити для еталонної моделі. Таке число буде відображати кількість рядків в таблиці. У кожну клітинку таблиці буде заноситися значення про час утримання конкретної клавіші в певний момент натискання.

Таблиця 1

**Збір статистичних даних**

| Клавіша 1 | … | Клавіша N |
|---|---|---|
| Час 1-го утримання клавіші | … | Час 1-го утримання клавіші |
| … | … | … |
| Час k-го утримання клавіші | … | Час k-го утримання клавіші |

Після збору всіх даних підраховується математичне сподівання кожної вибірки (для кожної клавіші), і еталон зберігається в обліковому записі.

Перед аутентифікацією користувач ідентифікує себе, тобто вводить пароль. Після цього проходить аутентифікацію. Користувачеві надається певний або випадковий текстовий фрагмент, довжина якого зазвичай може становити до 5000 символів. По ходу введення користувачем даного йому фрагмента, програма зчитує статистичні дані та порівнює їх з збереженими еталонними значеннями математичних сподівань різних вибірок.

Розглянемо більш докладно алгоритм біометричної аутентифікації, який аналізує клавіатурний почерк під час введення пароля. Даний алгоритм використовує при наборі на клавіатурі парольної фрази наступні біометричні характеристики: час натискання $(td_i)$ і час віджимання $(tu_i)$ клавіші, $i = 1,\ldots,n$, де $n$ - довжина парольної фрази, і - повний час набору парольної фрази $T$.

За даними параметрами формується вектор біометричних параметрів $V$. Для створення еталонної моделі користувача необхідно 30 векторів $V$, тобто користувач повинен 30 разів ввести

парольну фразу. Після аналізу наявних 30 реалізацій вектора біометричних параметрів формуються інтервали допустимих значень для кожного параметра, які записуються в системі як еталонні для кожного користувача.

Далі відбувається другий етап реєстрації користувача - тестування системи. На даному етапі користувач повторно вводить парольну фразу 10 разів. І тепер система перевіряє параметр кожного вектора на потрапляння в еталонний інтервал. Для даного завдання і для кожного вектора біометричних параметрів створюється вектор $E$, який складається з нулів і одиниць. Якщо параметр потрапляє в еталонний інтервал, в вектор записується 0, інакше - 1.

Припустимо, що існує найкращий вектор $E^*$, який складається з одних нулів. Такий вектор передбачає потрапляння кожного параметра в свій інтервал. Тепер, щоб визначити, як відрізняти легітимного користувача від нелегітимного, введемо поняття граничного значення помилок при аутентифікації, тобто значення, що визначає, скільки разів параметр отриманого вектора не потрапить в інтервал еталонних значень. Для визначення порогового значення необхідно ввести відстань Хеммінга $P$ між найкращим вектором і вектором тестового вектора біометричних параметрів. Таких відстаней в результаті буде 10. Далі, використовуючи отримані 10 відстаней Хеммінга, знаходимо математичне сподівання значення Хеммінга $P$, яке і буде граничним значенням, тобто дане число буде відображати допустиму кількість розбіжностей з біометричним еталоном, тобто з характерними інтервалами можливих значень параметрів.

При аутентифікації користувач вводить парольну фразу, тобто надає системі вектор біометричних параметрів. З цього вектору також формується вектор $E$ і знаходиться його відстань Хеммінга від найкращого вектора $E^*$. Щоб визначити, легітимний це користувач чи ні, система порівнює отримане значення з пороговим, яке зберігається в системі. Процес прийняття рішення можна відобразити в наступній системі:

$$\begin{cases} E \le E^*, \text{користувач} - \text{Свій}; \\ \text{інакше, користувач} - \text{Чужий}. \end{cases}$$

**Висновок.** Проведений аналіз засобів аутентифікації показує, що біометричну аутентифікацію за клавіатурним почерком можна вважати достатньо прийнятною з позицій надійності, точності, простоти алгоритму реалізації. Розглянутий алгоритм такого засобу аутентифікації дозволить досягти прийнятного рівня помилок першого і другого роду при аутентифікації користувачів при малій кількості вимірювань і дасть можливість скоротити час як на створення шаблону клавіатурного почерку, так і на процедуру авторизації.

**Література**


1. R. Gaines, W. Lisowski, S. Press, and N. Shapiro. Authentication by Keystroke Timing: Some Preliminary Results," Rand Report R-256-NSF, Rand Corporation, Santa Monica, C A, 1980.
2. J. Leggett and Williams Verifying identity via keystroke characteristics // International Journal of Man-Machine Studies, 28:67-76, 1988.
3. Расторгуев С. П. Цель как криптограмма: криптоанализ синтетических целей (монография и два варианта пролегоменов к теории) / С. П. Расторгуев, В. Н. Чибисов – М.: Изд-во Агентства "Яхтсмен" – 1996.
4. Смит Р. Э. Аутентификация: от паролей до открытых ключей. − М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. – 432 с.
5. Афанасьев А.А., Веденьев Л.Т., Воронцов А.А. и др. Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам. – М.: НТИ «Горячая линия – Телеком», 2012. - 550 с.
6. Ilonen J. Keystroke Dynamics [Електронний ресурс] // Lappeenranta University of Technology. - 2008. http://researchweb.iiit.ac.in/vandana/PAPERS/KS/Ilonen.pdf.
7. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. - М .: Высшая школа, 1984. - 80 с.
8. Задорожний В. Обзор биометрических технологий // Защита информации. - М.: Конфидент. - 2003. - № 5. - С. 26-29.
9. Бідюк П., Бондарчук В. Сучасні методи біометричної ідентифікації [Електронний ресурс] Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, 1(18) вип., 2009 р. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9839/1/26.pdf
10. Сарбуков А.Е. Аутентификация в компьютерных системах / А.Е. Сарбуков, А.А. Грушо // Системы безопасности. – 2003. – № 5(53). – С. 118– 122.


**References**


1. R. Gaines, W. Lisowski, S. Press, and N. Shapiro. Authentication by Keystroke Timing: Some Preliminary Results," Rand Report R-256-NSF, Rand Corporation, Santa Monica, C A, 1980.
2. J. Leggett and Williams Verifying identity via keystroke characteristics // International Journal of Man-Machine Studies, 28:67-76, 1988.
3. Rastorguev S.P. Purpose as a cryptogram: cryptanalysis of synthetic targets (monograph and two variants of pro-domains to the theory) / S.P. Rastorguev, V.N. Chibisov - Moscow: Yachtsman Agency Publishing House - 1996.
4. Smith R. E. Authentication: from passwords to public keys. - M .: Izd. House "Williams", 2002. - 432 p.
5. Afanasyev A.A., Vedenev L.T., Vorontsov A.A. and others. Authentication. Theory and practice of providing secure access to information resources. - Moscow: NTI "Hot line - Telecom", 2012. - 550 p.
6. Ilonen J. Keystroke Dynamics [Electronic resource] // Lappeenranta University of Technology. - 2008. http://researchweb.iiit.ac.in/vandana/PAPERS/KS/Ilonen.pdf
7. Gorelik A. L., Skripkin V. A. Methods of recognition. - M.: Higher School, 1984. - 80 p.
8. Zadorozhnij V. Biometric Technologies Overview // Information protection. -M.: Konfident, - 2003. - № 5. - P. 26-29.
9. Bidyuk P., Bondarchuk V. Modern methods of biometric identification [Electronic resource] Legal, normative and metrological provision of information security system in

Ukraine, 1 (18) issue, 2009. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9839/1/26.pdf
10. Sarbukov A.E. Authentication in computer systems / A.E. Sarbukov, A.A. Grusho // Security Systems. - 2003.- No.5(53). - P. 118- 122.

**Лыгин Ю.А., Шумова Л.А. Средства аутентификации пользователей компьютерных систем на основе информационных моделей.**

*В статье рассмотрены возможные способы аутентификации пользователей в многопользовательских компьютерных системах. Подробно рассмотрена возможность аутентификации пользователя путем анализа его клавиатурного почерка, а именно исследован алгоритм, который анализирует клавиатурный почерк после введения дополнительного текстового фрагмента или фразы.*

***Ключевые слова:*** *защита информации, пароль, биометрическая аутентификация, клавиатурный почерк, парольная фраза.*

**Lyhin Y., Shumova L. Means for user authentication in computer system based on information models**

*The article considers possible ways of authentication of users in multi-user computer systems. The possibility of user's authentication by analyzing his keyboard handwriting is considered in detail, namely, an algorithm that analyzes the keyboard writing after the introduction of an additional text fragment or phrase is investigated.*

***Keywords:*** *information protection, password, biometric authentication, keyboard writing, passphrase.*

**Лигін Ю.О**. – магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: krauser15021992@gmail.com
**Шумова Л.О. –** к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля, e-mail: shumova@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 30.10.2018

UDC 681.5.015

# IDENTIFICATION ALGORITHM OF CONTROL OBJECTS

**Loriia M.H.**

# АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ

**Лорія М.Г.**

*The analysis of the dependence of the efficiency of control objects identification algorithm on the methods of initial data selection: the uniform distribution of points on transient response curve and by characteristic points, is carried out. The dependence of the approximation error on the number of selected points on transient response curve is investigated.*
***Keywords:*** *approximation, nonlinear least squares method, uniform distribution of points, derivatives.*

**Introduction**

The growth of raw material cost on world markets leads to a rapid increase in the cost of Ukrainian production. Therefore, at present, the share of the cost of natural gas in chemical plants production reaches 75%. Thus, in order for domestic products to be competitive in the world market, there is an urgent need for more efficient use of raw materials, energy, etc. That is why, it is necessary to optimize production processes. On the majority of enterprises, the technology upgrade has been carried out, including control systems. However, as it turns out, this may not be enough if the major device in the automatic control system – a regulator that generates a control signal in order to obtain the required accuracy and quality of transient process, is not tuned properly. As the analysis of literary sources shows, the proportion of improperly tuned regulators used in the industry is about 30%. However, before finding the regulator settings, it is necessary to determine the transfer function of the control object, and for this purpose, it is necessary to identify the control object [1, 2, 3].

When identifying any transient process by transient response curve of an equivalent control object, using nonlinear least squares method, the developer faces the question, how, where and how many points on the transient response curve of the equivalent control object it is necessary to take in order to identify it with a sufficient degree of accuracy by second differential equation [4, 5, 6, 7].

The purpose of work is a comparative analysis of the methods of initial data selection for identification algorithm: by uniform distribution of points or by characteristic points.

**Approximation of control objects**

In [5] it is proposed to use a uniform distribution of points for the approximation of the transient characteristic of control object of the transient process of the second order link. The dependence of approximation accuracy on the number of points on the transient response curve, which are selected by uniform distribution of points, is investigated. The results of studies have shown that for approximation of transient function of an equivalent control object of any type with an error (the maximum deviation of the curve, which is approximated and the transient process of the second order link $\delta_{max}$) of not more than 3%, it is enough to break the transient response curve by 15 equal parts along time axis between the start and end of the transient response curve ( transient response curve reaching a constant value) and take 15 points on the transient response curve. However, such an approach does not take into account all the features of control object and, accordingly, is not able to provide maximum accuracy of approximation.

In [6], it is proposed to use the characteristic points, which are global extrema of derivatives of the output signal by time, to approximate the control object transient characteristic of the transient process of the second order link. The results of studies have shown that for the approximation of the transient function of an equivalent control object of any type, it is enough to take the characteristic points of the first two derivatives, which are selected based on the fact that each derivative will have at most two global extremes, that is, two characteristic points, as well as points: the start and the end of transient response curve. At this, the approximation error $\delta_{max}$ does not exceed 3%. The further increase in the number of characteristic points when using the third and fourth derivatives is practically not affected by the approximation error. The advantage of the proposed algorithm is that, firstly, the coordinates

of the characteristic points are uniquely determined; and secondly, they can be determined both in the process of characterization and after it.

We will conduct a comparative analysis of the methods for selecting the initial data on examples of transient process of different types using characteristic points and uniform distribution of points.

**Comparative analysis**

Let us consider the approximation of the transient response curve of the control object aperiodic on the examples of transient response curve of the bleaching tower (Fig.1a) and gas reactor (Fig.1b) in nitric acid production , and the transient response curve of control object oscillating on the examples of transient response curve of gas turbine GTT-3-M (Fig.2a) and steam turbine (Fig.2b) in nitric acid production.

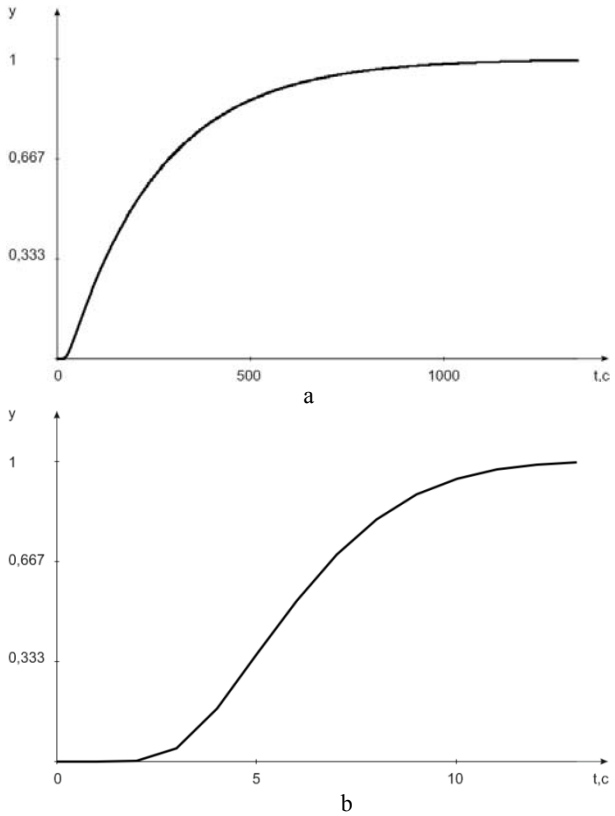



Fig. 1. Transient response curves:
a – bleaching tower; b – gas reactor

To approximate the transient response curve of an equivalent control object (Fig.1,2) by the corresponding transient process of the second order link with the time of delay, unknown parameters of the transitive function should be determined ($K_p$– transmission coefficient , determined by the transient response curve and for the transient response curve data is equal to 1, time constant $T_1$, $T_2$ and delay time $\tau$). The values found for these parameters and the approximation errors ( the maximum deviation between the curves $\delta_{max}$ and mean square deviation $\sigma$), depending on the number of points $N$ , is given in tables 1-4: the transient process of the bleaching tower is given in Table 1, transient process of gas reactor – in Table 2 , transient process of turbine GTT-3-M – in Table 3, transient process of steam turbine– in Table 4.

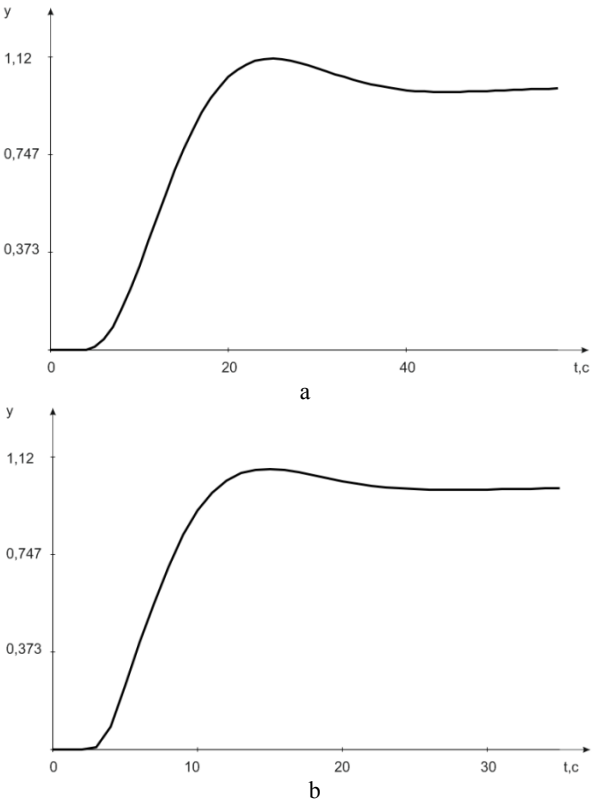



Fig. 2. Transient response curves:
a – turbine GTT-3-M; b – steam turbine

The research was conducted using the mathematical package «MathCAD» [7].

In Tables 1-4 for selecting the initial data using the uniform distribution of points was chosen as many points as for the methods for selecting the initial data using characteristic points, and also 1000 points were chosen to show that it makes no sense to take many points, since with number of points increase, the approximation error $\delta_{max}$ does not significantly change

From the results of the research (Tables1-4), the dependence $\delta_{max}$ and $\sigma$ on the number of points, when approximating the control object according to the initial data selected by the uniform distribution of points and by characteristic points, it follows that for the approximation of an equivalent control object by the characteristic points by the second order link maximum 6 points are sufficient (two points – the beginning and the end of the transient process, and two points (global extrema) on the graphs of the first two derivatives, which are determined uniquely and maximally characterize the dynamic properties of control object. Whereas, in order to approximate the control object by uniform distribution of points, in many cases, 15 points are necessary, and sometimes even this is not enough to ensure that the approximation error $\delta_{max}$ does not exceed 3%..

Table 1

**The value of the parameters and approximation errors, depending on the number of points for the transient process of the bleaching tower**

| Algorithm | Deri-vative | Numb. of points N | Parameters of transient function of the second order link | | | Approximation errors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $T_1$ | $T_2$ | τ, c | $\delta_{max}$, % | σ |
| Character. points | 1 | 4 | 11.305 | 237.424 | 61.248 | 0.034 | $1.720*10^{-4}$ |
| | 1,2 | 6 | 11.498 | 237.475 | 61.072 | 0.010 | $1.246*10^{-4}$ |
| | 1,2,3 | 8 | 11.537 | 237.444 | 61,041 | $7.292*10^{-3}$ | $6.080*10^{-5}$ |
| | 1,2,3,4 | 10 | 11.596 | 237.397 | 60.993 | $3.795*10^{-3}$ | $3.749*10^{-5}$ |
| Uniform distribution of points | w/o deriv. | 4 | 12.531 | 237.415 | 60.003 | 0.156 | $6.341*10^{-4}$ |
| | | 6 | 11.441 | 237.415 | 61.150 | 0.023 | $8.754*10^{-5}$ |
| | | 8 | 11.329 | 237.415 | 61.269 | 0.041 | $1.600*10^{-4}$ |
| | | 10 | 11.322 | 237.415 | 61.275 | 0.042 | $1.640*10^{-4}$ |
| | | … | … | … | … | … | … |
| | | 1000 | 11.577 | 237.415 | 61.008 | $4.379*10^{-3}$ | $5.418*10^{-6}$ |

Table 2

**The value of the parameters and approximation errors depending on the number of points for transient process of the gas reactor**

| Algorithm | Deriv. | Number of points N | Parameters of the transient function of the second order link | | | Approximation errors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $T_1$ | $T_2$ | τ, c | $\delta_{max}$, % | σ |
| Characteristic Points | 1 | 4 | 1.233 | 1.241 | 3.443 | 10.958 | 0.165 |
| | 1,2 | 6 | 1.818 | 1.818 | 2.615 | 2.957 | 0.059 |
| | 1,2,3 | 8 | 1.815 | 1.815 | 2.622 | 2.938 | 0.058 |
| | 1,2,3,4 | 10 | 1.815 | 1.815 | 2.622 | 2.938 | 0.058 |
| Uniform Distribution of points | W/o Deriv. | 4 | 1.149 | 1.156 | 4.093 | 21.699 | 0.234 |
| | | 6 | 1.827 | 1.827 | 2.536 | 3.248 | 0.064 |
| | | 8 | 1.700 | 1.700 | 2.811 | 4.153 | 0.055 |
| | | 10 | 1.748 | 1.747 | 2.716 | 3.298 | 0.054 |
| | | … | … | … | … | … | … |
| | | 1000 | 1.734 | 1.734 | 2.751 | 3.616 | 0.054 |

Table 3

**The value of the parameters and approximation errors depending on the number of points for the transient process of GTT-3-M turbine**

| Algorithm | Deriv. | Number of points N | Parameters of the transient function of the second order link | | | Approximation errors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $T_1$ | $T_2$ | τ, c | $\delta_{max}$, % | σ |
| Characteristic points | 1 | 4 | 5.829 | 5.180 | 4.961 | 2.291 | 0.023 |
| | 1,2 | 6 | 6.187 | 5.371 | 4.625 | 1.158 | 0.015 |
| | 1,2,3 | 8 | 6.195 | 5.376 | 4.614 | 1.130 | 0.015 |
| | 1,2,3,4 | 10 | 6.195 | 5.376 | 4.614 | 1.130 | 0.015 |
| Uniform distribution of points | W/o Deriv. | 4 | 5.750 | 5.155 | 5.401 | 4.969 | 0.052 |
| | | 6 | 5.931 | 5.190 | 4.942 | 2.223 | 0.018 |
| | | 8 | 6.107 | 5.327 | 4.671 | 1.273 | 0.013 |
| | | 10 | 6.146 | 5.371 | 4.610 | 1.116 | 0.014 |
| | | … | … | … | … | … | … |
| | | 1000 | 6.078 | 5.317 | 4.727 | 1.452 | 0.013 |

Table 4

**The value of parameters and approximation errors depending on the number of points for the transient process of steam turbine**

| Algorithm | Deriv. | Number of points N | Parameters of the transient function of the second order link | | | Approximation errors | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $T_1$ | $T_2$ | τ, c | $\delta_{max}$, % | σ |
| Character. points | 1 | 4 | 3.910 | 3.049 | 2.417 | 2.118 | 0.016 |
| | 1,2 | 6 | 3.773 | 2.929 | 2.561 | 1.520 | 0.013 |
| | 1,2,3 | 8 | 3.774 | 2.920 | 2.575 | 1.510 | 0.014 |
| | 1,2,3,4 | 10 | 3.774 | 2.920 | 2.575 | 1.510 | 0.014 |
| Uniform distribution of points | W/o Deriv. | 4 | 3.925 | 3.062 | 2.285 | 3.577 | 0.025 |
| | | 6 | 3.892 | 3.052 | 2.387 | 2.449 | 0.015 |
| | | 8 | 3.906 | 3.906 | 2.336 | 2.992 | 0.019 |
| | | 10 | 3.845 | 3.02 | 2.444 | 1.981 | 0.012 |
| | | … | … | … | … | … | … |
| | | 1000 | 3.815 | 2.985 | 2.495 | 1.578 | 0.012 |

**Conclussion**

In addition to the examples given in this work, a number of control objects with varying degrees of oscillation and inertia were investigated. According to the results of these studies it can be concluded that the identification of the control object by characteristic points is better than by the uniform distribution of points, since: firstly, the coordinates of the characteristic points are determined uniquely; and secondly, they can be determined both in the process of characterization and after it; thirdly, the number of points used, while providing the required accuracy , decreased by 1.5-3 times compared to the algorithm of uniform distribution of points [6,8].

Thus, in this work it is shown that when approximating an equivalent control object by the differential equation of the second order, it is reasonable to take the characteristic points of the transient process curve of an equivalent control object as the initial data. This allows to substantially facilitate the process of analysis and optimization of the dynamic characteristics of the automatic control system and significantly simplify the search for optimal regulator settings (ORS) by quadratic optimization function [9].

**R e f e r e n c e s**


1. Denisenko V.V. Kompyuternoe upravlenie tehnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer control of process, experiment, equipment] / V.V. Denisenko. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2009. – 608 s., ill. (in Russian).
2. Stentsel' J.I. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv khimichnykh vyrobnytstv: Textbook [Process automation in chemical production ] / J.I. Stentsel', O.V. Porkuian — Luhans'k: vyd-vo Skhidnoukr. nats. un-tu im. V. Dalya, 2010. – 300 p.(in Ukrainian).
3. Matematychne modeliuvannia tekhnolohichnykh ob'iektiv [Mathematical modelling of production facilities] / O.B.Tselischev, P.J. Yelisieiev, M.H. Loriia, I.I.Zakharov – Luhans'k. Vyd–vo Skhidnoukr. nats. univ. im. V. Dalya, 2011. – 421 p. (in Ukrainian).
4. Identyfikatsiia ob'iektiv keruvannia [Identification of control objects] / M.V. Anan'iev, O.B.Tselischev, M.H. Loriia, P.J. Yelisieiev, O.V. Yerokhina // Vymiriuval'na ta obchysliuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (mizhnarodnyj naukovo - tekhnichnyj zhurnal): Khmel'nyts'kyj, 2010. - №2 (36). – pp.178 – 181. (in Ukrainian).
5. Aproksymatsiia perekhidnoi funktsii ob'iekta keruvannia lankoiu druhoho poriadku [Approximation of transition function of control object by second order link] / M.V. Anan'iev, O.B. Tselischev, M.H. Loriia, P.J.Yelisieiev // Vymiriuval'na ta obchysliuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (mizhnarodnyj naukovo - tekhnichnyj zhurnal): Khmel'nyts'kyj, 2011. - №2. – pp.209 – 213. (in Ukrainian).
6. D'iakonov V.P. Mathcad 11,12,13 v matematyke. Spravochnyk [Mathcad 11,12,12 in mathematics] / V.P.D'iakonov. - M.: Horiachaia lynyia – Telekom, 2007. – 958 p., ill. (in Russian).
7. Optymal'ne nastroiuvannia rehuliatora za kvadratychnoiu optymizatsijnoiu funktsiieiu [Optimal tuning of regulator by quadratic optimization function ] / M.V. Anan'iev, O.B. Tselischev, M.H. Loriia, P.J.Yelisieiev // Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya (naukovyj zhurnal). – 2010. - №6(148) chastyna 2. – pp.134 – 141.(in Ukrainian).
8. Abdalkhamyd D. Systema ekstremal'noho keruvannia mnohopolochnym reaktorom s model'iu [System of extreme control of multi-shelf reactor with a model]/ D.Abdalkhamyd, M.H. Loryia, A.B. Tselyschev, P.I. Yelysieiev // Visnyk Skhidnoukrains'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya (naukovyj zhurnal). - №15(186). - ch.2. - 2012. - PP. 152-156. (in Ukrainian).
9. Abdalkhamid D. Rozrobka kombinovanoi modeli dlia zavdan' optymizatsii [Development of a combined model for optimization tasks] / D. Abdalkhamid, M.H. Loriia, P.I. Yelisieiev, O.B. Tselischev // Nauka i tekhnika (mizhnarodnyj naukovo-tekhnichnyj zhurnal): Mins'k BNTU, 2014.-№3.-PP.209-213. (in Ukrainian).
10. Loriia M.H. Osvoiennia vyrobnychoho rezervu shliakhom optymizatsii kolony syntezu metanolu [Development of production reserve by optimizing methanol synthesis column] / M.H. Loriia, O.B. Tselischev, P.I. Yelysieiev, D. Abdalkhamid, // Tekhnichnyj audyt i rezerv vyrobnytstva. - 2014. №5. PP. 188-191. (in Ukrainian).



**Лорія М.Г. Алгоритм ідентифікації об'єктів керування**

*Проведено аналіз залежності ефективності алгоритму ідентифікації об'єктів керування від способів вибору початкових даних: рівномірним розподілом точок на кривій розгону та за характерними точками. Досліджено залежність похибки апроксимації від кількості обраних точок на кривій розгону.*

***Ключові слова:*** *апроксимація, нелінійний метод найменших квадратів, рівномірний розподіл точок, похідні.*

**Лория М.Г. Алгоритм идентиикации объектов управления**

*Проведен анализ зависимости эффективности алгоритма идентификации объектов управления от способов выбора исходных данных: равномерным распределением точек на кривой разгона и по характерным точкам. Исследована зависимость погрешности аппроксимации от количества выбранных точек на кривой разгона.*

***Ключевые слова:*** *аппроксимация, нелинейный метод наименьших квадратов, равномерное распределение точек, производные.*



**Лорія Марина Геннадіївна –** кандидат технічних наук, доцент, кафедри електронних апаратів, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля E-mail: atp01@ukr.net



*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 28.09.2018

УДК: 004.056.55

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

**Метьолкін А.О., Кардашук В.С**

# RESEARCH METHODS TO IMPROVE CRYPTOGRAPHIC STABILITY

**Metyolkin A.O., Kardashuk V.S.**

*У статті розглянуто питання щодо надійності криптографічних алгоритмів шифрування, застосування спеціальних методів теоретичного і експериментального характеру. Виконано огляд основних методів шифрування та засоби їх удосконалення*

***Ключові слова:*** *криптографія, криптоаналіз, ключі шифрування, алгоритм, цифровий підпис.*

**Вступ.** Криптографія - наука про методи забезпечення конфіденційності та збереження цілісності даних. На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій актуальним є питання подальших досліджень криптостійкості симетричних і асиметричних алгоритмів та алгоритмів, заснованих на хеш-функціях.

**Постановка проблеми.** При значній кількості методів та алгоритмів шифрування дослідження в області криптоаналізу є невід'ємною частиною криптографії. У даній роботі за допомогою практичного методу моделювання алгоритмів необхідно провести аналіз алгоритмів шифрування/дешифрування відносно їх стійкості на основі існуючих методів та надати рекомендації щодо їх практичного застосування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] проаналізована робота алгоритмів шифрування та постановка питання щодо криптостійкості алгоритмів шифрування із відкритими та закритими ключами. У [2] розглянуті теоретичні матеріали по методам шифрування, такі як первинні характеристики криптоаналізу. У [3] розглянуто методи та стандарти реалізації алгоритму шифрування RSA, формули для розрахунків ключів шифрування, основні вимоги до алгоритмів шифрування та їх криптоаналіз.

**Мета статті.** Дослідження криптостійкості на прикладі алгоритму шифрування RSA.

**Результати досліджень.** Криптографія в першу чергу спеціалізується на методах шифрування інформації – шифрування первинного тексту за допомогою алгоритму або криптоключа в шифрований текст [4]. Зазвичай, криптографія базується на симетричних криптосистемах, в яких шифрування і розшифрування виконується на базі одного ключа. Також у криптографії використовуються асиметричні криптосистеми, а для підвищення стійкості шифрування використовують системи електронного цифрового підпису, хеш-функції, управління ключами, отримання прихованої інформації, квантова криптографія.

Одним із найпростіших варіантів для шифрування інформації є «шифр Цезаря» – заміна літер алфавіту на літери того ж алфавіту, але із зсувом на три позиції. Даний алгоритм дуже простий, з невеликим ступенем надійності шифрування. Щоб розшифрувати такий текст, досить знати алгоритм.

Існує й інший спосіб отримання шифрованого текст - замінити літери на літери іншого алфавіту або на символи. Щоб прочитати такий текст, потрібен ключ, який співвідносить ці алфавіти між собою. Створенням стійкого до частотного криптоаналізу шифру було досить серйозними питанням. Наприклад, застосування декількох алфавітів і т. п. Подібні алгоритми шифрування дали основу для більш сучасних криптосистем.

Принцип Керкгоффса, говорить: «Стійкість криптосистеми не повинна залежати від секретності алгоритму». Тобто передбачається, що зловмисник знає, якимось чином відкритий текст (текст до шифрування). Але ключ, за допомогою якого це робиться, повинен залишатися таємницею. Зламати таку систему можна простим перебором ключа, саме тому важливо, щоб ключ був не надто коротким і щоб був один-єдиний спосіб зрозуміти, що він правильний. У той же час занадто великий ключ забирає досить великий відсоток обчислювальних ресурсів, навіть для сучасних комп'ютерів.

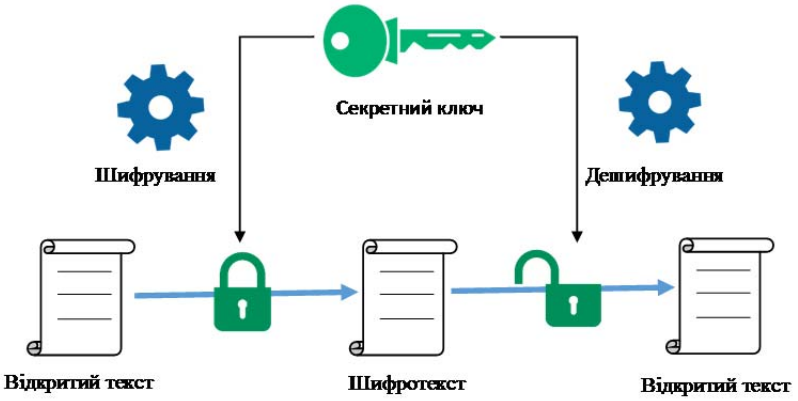



Рис. 1. Принцип роботи симетричного шифрування на основі ключа

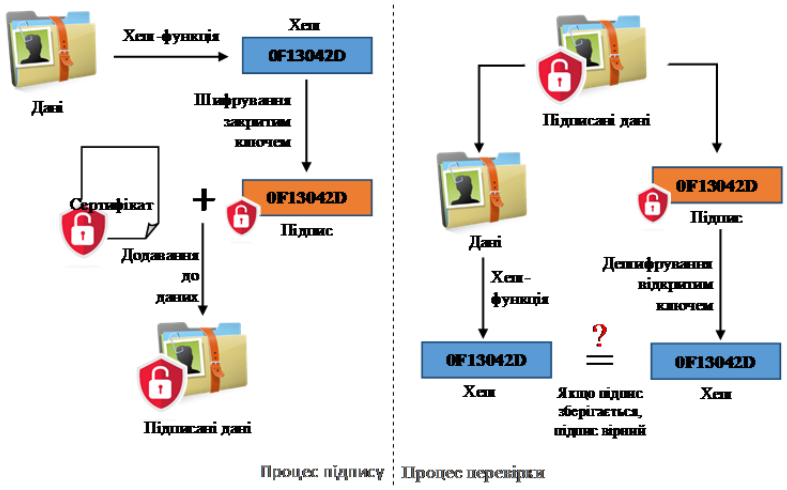



Рис. 2. Принцип роботи цифрового підпису

Наприкінці 70-х років минулого століття інтерес до криптографії зріс як у держслужб, так і у звичайних користувачів. Так, алгоритм RSA набув широкої популярності та використання в криптосистемах. Алгоритм RSA володіє криптографічними властивостями, що притаманні симетричним системам шифрування. У симетричній криптографії для шифрування і дешифрування використовується один ключ. Ці прості алгоритми ідеологічно описані ще в 50-х роках минулого століття, але всім їм властивий один великий недолік, а саме необхідність захищеного каналу для передачі ключа шифрування. Цю проблему симетричного шифрування називають проблемою поширення ключів [6].

Дешифрування - зворотний процес шифрування. На основі ключа шифрований текст перетвориться у вихідний [7].

Для іншого способу шифрування застосовується пара ключів: відкритий і закритий, так званий секретний. Відкритий і закритий ключі дозволяють криптографічним алгоритмам шифрувати/дешифрувати повідомлення. При цьому повідомлення, зашифровані відкритим ключем, розшифрувати можна тільки за допомогою закритого ключа. Відкритий ключ публікується в сертифікаті власника і доступний вже при підключенні клієнта, а закритий – зберігається у власника сертифіката.

Відкритий і закритий ключ між собою пов'язані математичними залежностями, тому підібрати відкритий або закритий ключ неможливо за короткий час. Перевірити, чи не була інформація спотворена під час передачі по зашифрованому каналу можна за допомогою електронного цифрового підпису (digital signature)[8]. В цьому випадку текст зашифрований закритим ключем і разом з відкритим текстом відправляється відправнику. Якщо розшифрування проводити відкритим ключем і текст співпадає з не зашифрованим текстом, то проведена дешифрація є успішною. На практиці закритим ключем, зазвичай, зашифрована хеш-функція документа. Електронний підпис крім іншого містить так званий сертифікат відкритого ключа, виданий довіреним центром сертифікації (CA, certification authority), який має дані по всіх відкритих ключах та їх користувачах. Сертифікат теж повинен бути підписаний. Важливо,

що відкритий ключ довіреного центру повинен бути відомий заздалегідь, інакше його теж можна підробити.

Криптографічно стійка хеш-функція перетворює вихідний текст в один рядок так, що з цього рядка неможливо (або дуже складно) отримати вихідний текст. Хеш-функцію використовують, наприклад, там, де потрібно вводити пароль: фразу в рядку введення порівнюють не з самим паролем, а з його хеш-функцією.

Хеш-функція-перетворення тексту довільної довжини в текст фіксованої довжини визначається як

$$H = hash(P), \tag{1}$$

де $P$ - пароль (відкритий текст), довжина $P$ від 0 до нескінченності;

$H$-хеш (хешований текст), довжина $H = N$ біт (за умови що функція hash повертає хеш-значення довжиною $N$ біт).

Для посилення криптографічної стійкості використовують ітераційний алгоритм отримання ключів.

Ключі знаходяться за наступним алгоритмом:

$$\begin{aligned} &K1 = hash(password) \\ &K2 = f(K1) \\ &... \\ &K(n) = f(K(n-1)) \end{aligned} \tag{2}$$

де $f$ –функція по перетворенню ключа. Якщо знати $K1$, то можливо обчислити всі інші $Ki$, $i = 2..n$.

Зловмисник не знаючи початкового хеш-паролю, але знаючи значення хеш функції може розшифрувати весь текст. Для підбору пароля методом звичайного перебору, повинен зробити підбір $2^S$ значень (S-розмір хеш-значення в бітах). Якщо хеш-функція повертає значення довжиною 64 біта-потрібно зробити перебір $2^{64}$ = 8 446 744 110 значень.

Комп'ютер зловмисника може перебирати 1000000 паролів в секунду. Тоді підбір хеш-значення максимально займе 213 503 982 днів.

Якщо використовувати метод злому шифрів або пошуку колізій хеш-функцій, тоді кількість варіантів скоротиться в середньому вдвічі – $2^{64}/2$ = 4 294 967 296 значень. На перебір цих значень піде всього лише 1,2 години.

Найуразливіше місце криптографічного захисту - це людина. Зламувати шифри також є частиною криптографії, якою займається криптоаналіз. Криптологія об'єднує як науку шифрування, так і дешифрування

Перевіримо на практиці надійність ключів шифрування за допомогою програми Cryptotool 2 [10], що працює з шифрами, та допомагає змоделювати систему шифрування.

Cryptotool 2 підтримує усі відомі на сьогодні моделі шифрування. Функціональні блоки мають модулі для введення і виведення інформації в процесі роботи, які в свою чергу можуть приєднуватися до інших функціональних блоків і обмінюватися інформацію між собою. Кожен блок має сценарій роботи і віртуалізації. Це дає можливість після складання всієї схеми запустити моделювання роботи. Після запуску моделювання кожен з блоків починає поступове завантаження з відображенням процесу у вигляді процентного виконання. По закінченню циклу на кожному блоці а також у вікні процесу відображається повний хід дій, в якому можуть бути присутні помилки та не стикування блоків у разі помилки при передачі інформації.

Одним з найбільш поширених методів несиметричного шифрування/дешифрування є метод шифрування з відкритим ключем на основі алгоритму RSA, що заснований на використанні операції піднесення до степеню модульної арифметики. Алгоритм RSA можна представити у вигляді наступної послідовності для отримання ключів шифрування:

$$n = pq, \tag{3}$$

де $p$ $i$ $q$ - два великих простих числа[5].

На практиці для забезпечення криптостійкості системи величина цих чисел повинна бути довжиною не менше двохсот десяткових розрядів.

$n$ - відкрита компонента ключа.

$$f(p,q) = (p-1)(q-1), \tag{4}$$

де $f(p,q)$ - функція Ейлера.

$$e * d(|f(p,q)|) = 1, \tag{5}$$

де $e$ - число, яке має бути взаємно простим із значенням функції Ейлера і меншим, ніж $f$ (р $q.$) $d$ – число, яке задовольняє співвідношенню.

Числа $e$ і $n$ приймаються в якості відкритого ключа. В якості секретного ключа використовуються числа $d$ і $n$.

Підберемо три варіанти для значень $p$ та $q$ , та розрахуємо параметри закритого і відкритого ключа (табл. 1).

Таблиця 1

**Обчислені ключі шифрування**

| Параметри $p,q$ | Відкриті ключі | Закриті ключі |
|---|---|---|
| 251,31 | 83,7781 | 4247,7781 |
| 1523,113 | 251,172099 | 29203,172099 |
| 165173,1231 | 647,203327963 | 67511183,203327963 |

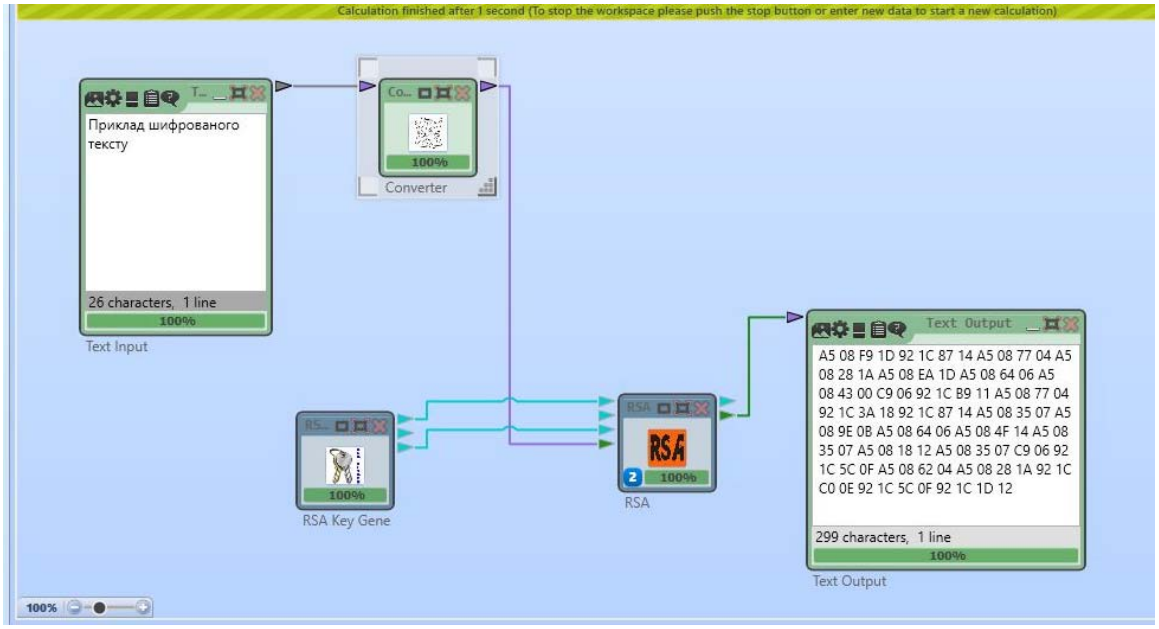



Рис. 3. Вікно програми Cryptotool 2.1 з функціональною схемою

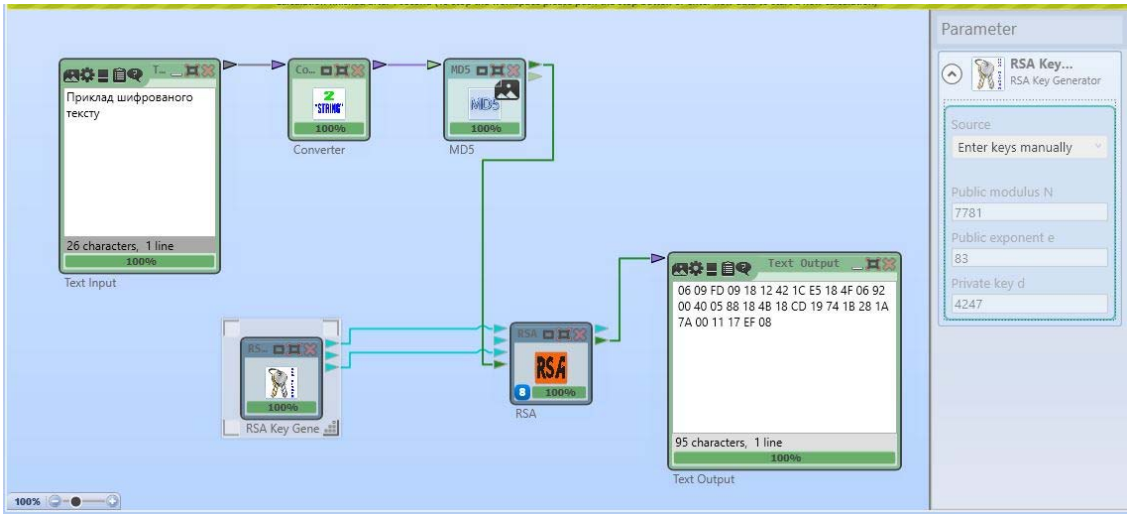



Рис. 4. Шифрування із застосуванням хеш-функції MD5 у програмі Cryptotool 2

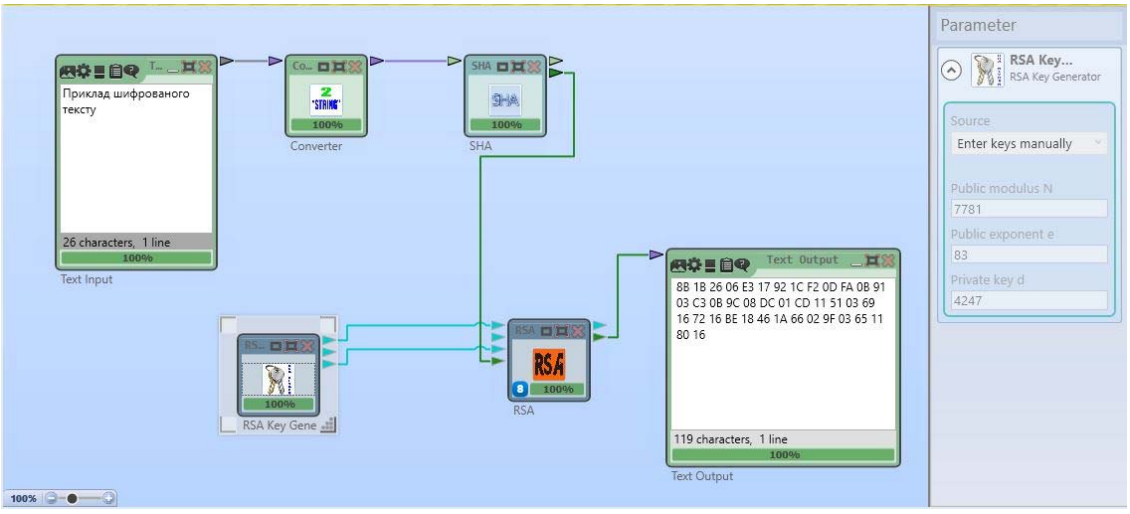



Рис. 5. Шифрування з хеш-функцією SHA-1 у програмі Cryptotool 2

Розраховані данні занесені до програми та проведений процес шифрування.

Отримані результати дослідження алгоритмів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення для шифрування з першим набором ключів(83,7781; 4247,7781)**

| Алгоритм хеш-функції | Кількість символів |
|---|---|
| RSA | 299 |
| MD5 | 95 |
| SHA-1 | 119 |
| SHA-256 | 191 |
| SHA-512 | 383 |

Для аналогічних моделей з іншими наборами ключів отримані такі значення (табл. 3,4).

Таблиця 3

**Значення для шифрування з другим набором ключів(251,172099; 29203,172099)**

| Алгоритм хеш-функції | Кількість символів |
|---|---|
| RSA | 303 |
| MD5 | 101 |
| SHA-1 | 123 |
| SHA-256 | 213 |
| SHA-512 | 391 |

Таблиця 4

**Значення для шифрування з третім набором ключів (647,203327963; 67511183,203327963)**

| Алгоритм хеш-функції | Кількість символів |
|---|---|
| RSA | 307 |
| MD5 | 101 |
| SHA-1 | 130 |
| SHA-256 | 197 |
| SHA-512 | 401 |

На рис. 6 наведена залежність шифрованих символів від розміру ключа

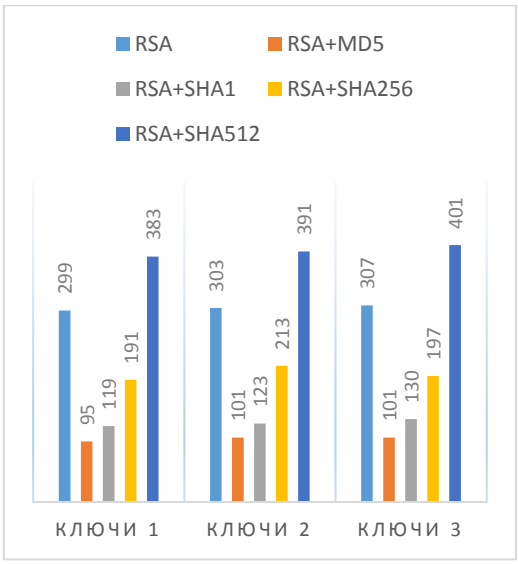



Рис. 6. Залежність шифрованих символів від розміру ключа

З рис. 6 видно, що при збільшенні розміру ключа найбільших змін отримує алгоритму RSA з використанням SHA-512. Порівняльні дані діаграми показують ефективність використання алгоритмів шифрування в цілому. Як висновок, можна зазначити, що при умові обмеженої пам'яті комп'ютера використання хеш-функції RSA + MD5 є найбільш доцільним.

При використанні алгоритму RSA отриманий шифротекст є в 10 разів більший на відміну від початкового тексту, але його стійкість є низькою. Слід зазначити, що разом із збільшенням розміру ключів шифрування збільшується і надійність даної системи, тобто чим більш опрацьовані первинні даних та ключі для шифрування, тим більша його криптостійкість.

**Висновки.** У статті розглянуті основні алгоритми і методи шифрування та питання щодо підвищення їх криптостійкості .

Для дослідження обрано алгоритм RSA та розглянуто етапи його роботи, взаємодія із ключами шифрування.

В ході досліджень виявлено, що надійність алгоритму залежить від ключів шифрування, а також ступеня його опрацювання. Розглянуті принципи підвищення криптостійкості на прикладі ітераційного методу та хеш-функцій, які впливають на дані шифрування, що посилює загальну криптостійкість методу та зменшує ризик атак звичайними методами злому.

**Література**

1. С. Гнатюк, В. Кінзерявий, А. Охріменко. Особливості криптографічного захисту державних інформаційних ресурсів - Безпека інформації. - 2012. - № 1. - С. 68.
2. І.В. Лисенко, Ю.В. Трегуб . Порівняльна характеристика можливостей програмних платформ і мов програмування з точки зору реалізації криптоалгоритмів - Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017- випуск 1(41).
3. J. Gallier,J. Quaintance. Notes on Primality Testing And Public Key Cryptography Part1.
4. Алферов А.Ю. Основы криптографии./ Алферов А.Ю., Зубов А.С. – М.: Наука, 2004- 423с.
5. Герман О.Н. Теоретико - числовые методы в криптографии / О.Н. Герман, А.Ю. Нестеренко. — М., 2012. — 300 с.
6. Бабаш А.В. История криптографии / Бабаш А.В., Шанкин Г.П Часть I. — М.: Гелиос АРВ, 2002. — 240 с.
7. Романец Ю.В., Тимофеев П.А., Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Под ред. В.Ф. Шаньгина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2001. – 376 с.
8. Петров А. А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты. – М.: ДМК, 2000- 150 с.
9. Аграновский А.В Практическая криптография. Алгоритмы и их программирование / Аграновский А.В., Хади Р.А../ — М: Солон-Пресс, 2009. — 258 с.

10. Downloads - CryptoTool Portal. Режим доступу https://www.cryptool.org/de/ct2-downloads (дата звернення 17.09.2018).

**R e f e r e n c e s**

1. S. Hnatyuk, V. Kinesberyev, A. Okhrimenko. Features of Crypto protection of Information Technologies - 2012. - No. 1. - P. 68.
2. I.V. Lysenko, Y.V. Tregub Comparative characteristics of the capabilities of software platforms and programming languages in terms of the implementation of cryptographic algorithms - Control systems, navigation and communication. - 2017- Issue 1 (41).
3. J. Gallier, J. Quaintance Notes on Primality Testing and Public Key Cryptography Part1.
4. Alferov A.Yu. Fundamentals of cryptography. / Alferov A.Yu., Zubov A.S. - Moscow: Nauka, 2004- 423 p.
5. Herman ON Numerical methods in cryptography / O.N. Herman, A.Yu. Nesterenko. - M., 2012. - 300 p.
6. Babash A.V. History of cryptography / Babash AV, Shankin GP Part I. - M .: Helios ARV, 2002. - 240 p.
7. Romanets, Yu.V., Timofeev, PA, Shangin, V.F. Protection of information in computer systems and networks / Ed. V.F. Shangina. - 2nd ed., Pererab. and add. - M .: Radio and communication, 2001. - 376 p.
8. Petrov A. A. Computer security. Cryptographic methods of protection. - Moscow: DMK, 2000-150 p.
9. Agranovsky A.V. Practical cryptography. Algorithms and their programming / Agranovsky AV, Hadi R.A ../ - M: Solon-Press, 2009. - 258 p.
10. Downloads - CryptoTool Portal. Access mode https://www.cryptool.org/de/ct2-downloads (date of request 17.09.2018).

**Кардашук В.С., Метелкин А.О., Исследование методов повышения криптографической устойчивости.**

*В статье рассмотрены вопросы надежности криптографических алгоритмов шифрования, применение специальных методов теоретического и экспериментального характера. Выполнен обзор основных методов шифрования и расссмотрены средства их улучшения.*

***Ключевые слова**: криптография, криптоанализ, ключи шифрования, алгоритм, цифровая подпись.*

**Kardashuk V.S., Metelkin A.O. Research methods to improve cryptographic stability.**

*The article deals with the reliability of cryptographic encryption algorithms, the application of special methods of theoretical and experimental nature. The analysis of the basic methods of encryption and the inspected means of their improvement are executed.*

***Keywords:** cryptography, cryptanalysis, encryption keys, algorithm, digital signature.*

**Метьолкін А.С.** – магістр групи КІ-17дм кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: artemtyz9@gmail.com
**Кардашук В.С.** – к.т.н, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kardashuk1@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Архипов О.Г.***

Стаття подана 12.10.2018

УДК 666.293

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФТОРИДІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕЗБОРНИХ ТИТАНОВИХ ЕМАЛЕЙ

**Мінакова Н.О., Нагорна Т.І., Фурса О.О., Тітова О.В., Кравченко Т.В.**

# RESEARCHUENCE OF FTORIDES ON THE PROPERTIES OF BORON-FREE TITANIUM ENAMEL

**Minakova N.A., Nagornaya T.I., Fursa O.A., Titova H.V., Kravchenko T.V.**

*В роботі проведено дослідження впливу кількості фторвміщуючої сировини у складі шихти та її природи на оптичні характеристики безборних титанових емалевих покриттів. Виявлено, що збільшення кількості кріоліту до 12,5 % призводить до підвищення блиску емалевих покриттів від 79 до 100%, але при підвищенні температури знижується білизна емалевих покриттів від 80 до 73%. Емалеві покриття зі зниженим вмістом кріоліту 5 – 7,5% характеризуються недостатньо високими значеннями білизни від 69,09 до 78,90%. Найбільш стабільні у температурному інтервалі випалу 780 – 840 ˚С оптичні характеристики спостерігаються для покриттів з вмістом 10 % кріоліту ($Na_3AlF_6$) у шихті, зокрема блиск 84 – 86% та білизна 79,91 – 81,61%. При цьому вводити фтор до складу емалі бажано у вигляді кріоліту, введення фтору за допомогою сполук $Na_2SiF_4$ та $AlF_3$ погіршує оптичні показники покриттів. Також у роботі було досліджено леткість фтору при плавленні безборних титанових емалей з різним вмістом $SiO_2$ та $TiO_2$, та встановлено, що звітрюваність фтору становить 15 – 23 мас.%, а це у 1,5 – 2 рази нижче, ніж при плавці борвмісних емалей.*

***Ключові слова:*** *титанова емаль, безборна емаль, фториди, оптико-колірні характеристики, емалеві покриття, інтервал випалу, заглушеність***.**

**Вступ** В теперішній час для одержання емальованого посуду найбільш широко використовують титанові емалі завдяки їх сильній заглушеності при товщині склошару всього 0,1 мм. Як правило, склади таких емалей обов'язково містять $B_2O_3$ та фториди. Це пов'язано з тим, що зазначені компоненти сприяють кристалізації діоксиду титану та підвищують заглушеність і легкоплавкість титанових емалей. Обмеження по міграції цих компонентів у розчини харчових кислот при експлуатації виробів викликало інтерес до розробки безборних титанових емалей і дослідження впливу кількості фторидів на властивості саме безборних титанових емалей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо [1-4], значна леткість фторидів при варці емалей чинить негативний вплив на навколишнє середовище. У той же час вони значно прискорюють процес варки емалей, знижують температуру їх плавлення, в'язкість і поверхневий натяг розплавів, температуру випалу покриттів, підсилюють блиск стклопокриттів. Тому незважаючи на високу леткість фтористих сполук продовжуються дослідження по впливу фторидів на властивості склоемалевих покриттів різного призначення, виявлення мінімально необхідної їх кількості [4-7].

**Мета статті.** Увага до розробки білих безборних титанових емалевих покриттів викликала значний інтерес щодо встановлення впливу природи фторвміщуючої сировини та раціонального вмісту фтору в складі емалі на оптичні властивості емалей. Дослідженні летючості фору при плавці безборних титанових емалей.

**Результати досліджень.** На першому етапі було досліджено залежність оптичних характеристик емалевих покриттів від кількості кріоліту, який варіювався у межах від 5 до 12,5% (табл. 1).

Таблиця 1

**Хімічні склади емалей, мас.%**

| Компоненти | Номери емалей | | | |
|---|---|---|---|---|
| | №1 | №2 | №3 | №4 |
| $SiO_2$ | 50,5 | 50,5 | 50,5 | 50,5 |
| $Na_2O$ | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 |
| $TiO_2$ | 18,5 | 18,5 | 18,5 | 18,5 |
| $Na_3AlF_6$ | 5 | 7,5 | 10,0 | 12,5 |
| $P_2O_5$ | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| $ZrO_2$ | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Сумма | 95,0 | 97,5 | 100 | 102,5 |

Варку емалевих стекол здійснювали в шамотних тиглях в електричній печі з карбід кремнієвими нагрівачами при температурі 1250 –

1280 ℃ до готовності. Готовність емалевих стекол перевіряли пробою на нитку та коржик. Зварені емалеві стекла гранулювали на воду. Помел дослідних емалевих фрит здійснювали мокрим способом у планетарному млині за рецептом 7 мас.ч. положської глини ПЛГ- 2; 0,2 мас.ч. електроліту KCl та 40 мл води на 100,0 мас.ч. фрити. Емалеві шлікери наносили на заґрунтовані металеві зразки, які потім сушили при температурі 105 – 110 ℃ та випалювали при температурі 750 – 870 ℃. Фізико-хімічні властивості емалевих покриттів визначали за стандартними методиками, зокрема: коефіцієнт дзеркального відбиття (КДзВ) на глянцметрі ГГФ – 6, коефіцієнт дифузного відбиття (КДВ) або білизну на компараторі кольору КЦ – 3 відносно джерела світла А.

Аналіз оптичних характеристик емалевих покриттів (рис. 1) дозволив встановити, що зниження кількості кріоліту до 5 - 7,5% в складі експериментальної емалі призводить до зниження білизни покриттів (до 74%) і блиску (до 79%), що пов'язанє з підвищенням тугоплавкості (в'язкості та поверхневого натягу), підтвердженням чого також може служити «стягування» емалевого покриття з гострих кромок випалених зразків. Пониження білизни покриттів при зниженні в них вмісту кріоліту пов'язано з тим, що фтор в титанових емалях виступає каталізатором кристалізації титану, і при зниженні його концентрації кількість центрів кристалізації зменшується і збільшується розмір часток кристалічної фази.

Підвищення кількості кріоліту від 10 до 12,5% призводить до підвищення білизни емалевих покриттів (від 81,26 до 82,96%) при низьких температурах випалу 750℃. При підвищені температури випалу (до 840℃) відбувається зниження білизни (з 79,9 до 73%), що обумовлено зниженням в'язкості розплаву емалі, внаслідок деполімеризуючої дії фтору на структуру скла, що призводить до інтенсивного збільшення кількості кристалічної фази в покритті та зниженні коефіцієнта дифузного відбиття.

Таким чином, в результаті дослідження впливу різної кількості кріоліту на оптичні властивості емалевих покриттів встановлено, що раціональний його вміст становить 10%, при цьому забезпечуються оптимальні умови утворення дрібнокристалічної фази діоксиду титану.

Для одержання емалевих стекол певного хімічного складу можна використовувати різні сировинні матеріали, які можуть впливати на леткість окремих компонентів складів емалевих шихт. Відомо, що окрім теплової передісторії деякі властивості емалей, такі як: ступінь провару, температура плавлення, здатність до кристалізації, блиск покриттів та інші властивості істотно залежать від того, якими сполуками введені ті чи інші компоненти. Тому було вивчено вплив природи вихідних матеріалів (фторвміщуючої сировини) на якість безборних емалевих покриттів табл. 2., а саме широко використовуваних фторидів: кріоліту, кремнефтористого натрію та фтористого алюмінію. В якості основи для таких досліджень було обрано хімічний склад емалі №3. Шихтові склади розраховували таким чином, щоб при використанні різних фтористих компонентів хімічний склад синтезованої емалі не змінювався.

Експериментально встановлено, що при введенні в шихту сполук фтору у співвідношенні (50:50%) о кремнефтористий натрій та фтористий алюміній отримано слабозаглушене покриття (КДВ 33,3%), що напевно пов'язано з надзвичайно великою леткістю фтористого алюмінію. За збільшенням ступеня звітрювання при варці емалі окремі фториди можуть бути розташовані в наступний ряд [8]: NaF <$Na_3AlF_6$ <$CaF_2$ <$Na_2SiF_6$ <$AlF_3$. Крім того, з кремнефтористого натрію фтор звітрюється у вигляді $SiF_4$, в результаті чого матриця скла вірогідно збагачується лужними оксидами і підвищується основність скла. Це і викликає підвищення розчинності діоксиду титану і зниження заглушеності емалевих покриттів на основі фрит, отриманих із сумішей, що містять фтористий алюміній або кремнефтористий натрій. При введенні в шихту емалей кремнефтористого натрію як окремо, так і спільно з криолітом, леткість фторидів зменшується, однак, завдяки збагаченню скла лужними оксидами створюються сприятливі умови для часткового відновлення діоксиду титану та отримання покриттів з сіруватим відтінком (КДО 61%). Найбільш низькою леткістю з досліджених нами фторидів володіє кріоліт, що узгоджується з даними [9], який і забезпечує мінімальне відхилення складу дослідної емалі від розрахункового.

З метою встановлення леткості фторидів при плавці безборних титанових емалей було сплавлено декілька простих за хімічним складом склооснов. Хімічний аналіз стекол №18 та №19 (табл. 3) дозволив встановити, що леткість фтору при їх плавці становить 15 - 23 мас.% від його кількості в шихті, а це в 1,5 - 2 раза нижче, ніж при варінні борвмісних емалей. При цьому він звітрюється, ймовірно переважно у вигляді фториду алюмінію, леткість якого за літературними даними [8] надзвичайно висока, а хімічний склад склооснов за хімічним аналізом також показує зниження кількості оксиду алюмінію у порівнянні з очікуваним розрахунковим.

Понижена летючість фторидів зі складів безборних емалей, ймовірно, обумовлена тим, що розчинність фторидів у основних розчинах вище, ніж у кислотних. У процесі плавки безборних емалей, первинна рідка фаза є високолужною, тому що утворюється плавленням соди та селітри. В результаті послідуючого утворення евтектичних сумішей із кремнеземом та іншими компонентами шихти кислотність розплаву зростає. Порівняльний аналіз вмісту фтору, що залишився у складі фрит також показує, що у складі з меншим вмістом $SiO_2$, тобто більш лужних, леткість фтору менша. При

плавленні борвмісних шихт в першу чергу плавиться селітра, сода та бура, що обумовлює високу кислотність розплаву, що утворюється і високу леткість фторидів на початку варіння. Менша леткість фторидів зі складів безборних емалей підтверджується і даними Фильхабера [9]. Це дає можливість синтезувати безборні титанові емалі з використанням ефективного флюсуючого та деполімеризуючого фтору з метою зниження температури випалу склоемалевих покриттів і при цьому зменшити його летючість при плавці емалевих стекол.

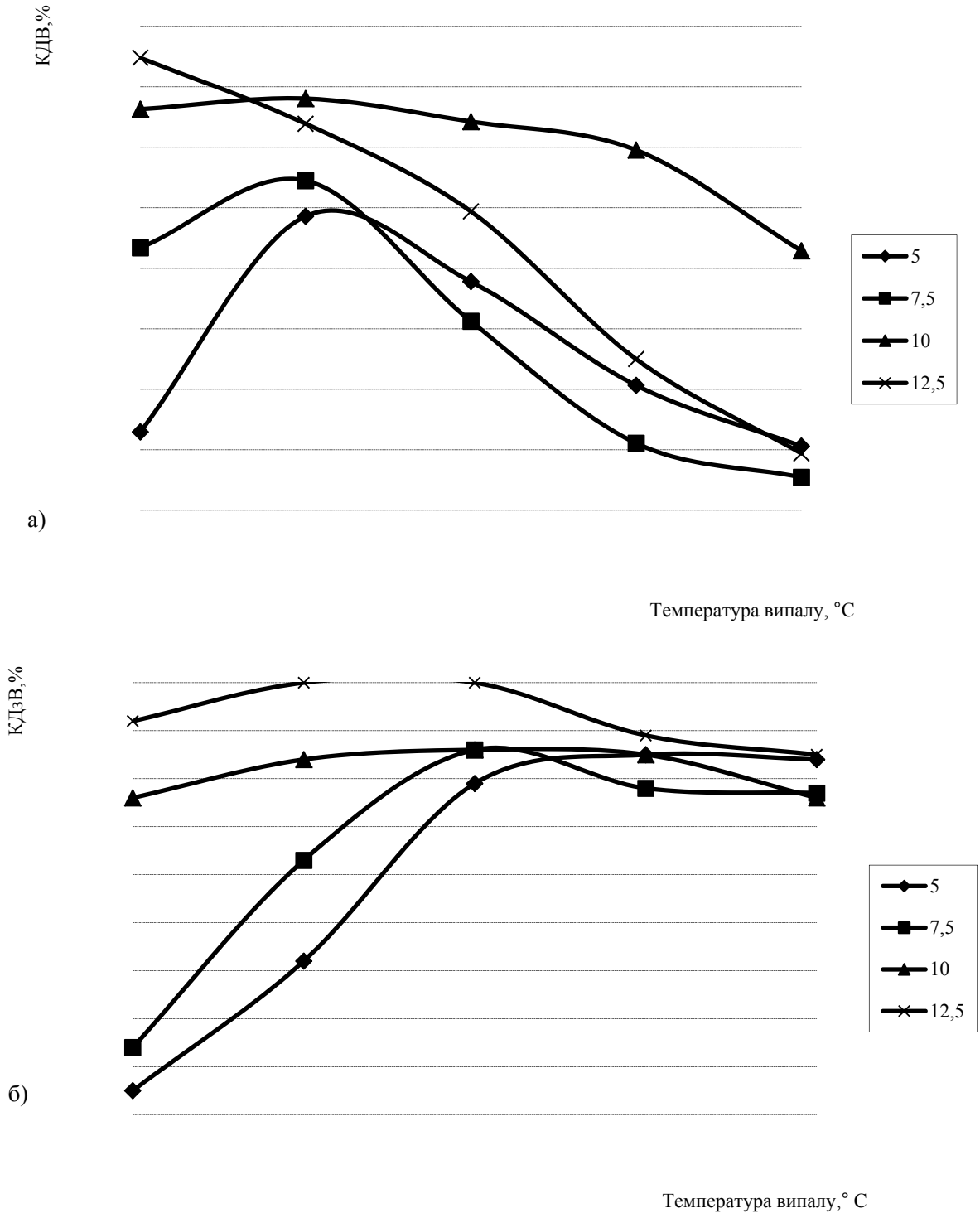



Рис. 1. Залежність оптичних характеристик емалевих покриттів від вмісту кріоліту,%:
а – білизни (КДВ), б – блиску (КДзВ)

Таблиця 2

**Шихтові склади та оптичні характеристики безборної титанової емалі з різними фтористими сполуками**

| Сировинні матеріали | | | Номер емалі | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | №3 | № 3-1 | №3-2 | №3-3 |
| Пісок кварцевий | | | 51,0 | 49,6 | 51,2 | 49,8 |
| Сода кальцинована | | | 10,2 | 12,7 | 11,3 | 11,9 |
| Селітра натрієва | | | 16,2 | 20,3 | 17,9 | 18,9 |
| Триполіфосфат натрія | | | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| Діоксид титана | | | 18,9 | 18,9 | 18,9 | 18,9 |
| Діоксид цирконія | | | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| Глинозем | | | - | - | 1,3 | 2,5 |
| Кріоліт | | | 10,3 | - | 5,0 | - |
| Кремнефтористий натрій | | | - | 4,5 | 4,5 | 9,0 |
| $AlF_3$ | | | - | 4,0 | - | - |
| Всього | | | 115,9 | 119,3 | 119,4 | 120,3 |
| Тривалість варки, хв. при температурі 1280℃ | | | 67 | 49 | 56 | 55 |
| Оптичні характеристики емалевих покриттів | | | | | | |
| КДВ,% | при температурі випалу, ℃ | 750 | 81,26 | 25,38 | 70,91 | 68,32 |
| | | 780 | 81,61 | 25,28 | 66,38 | 66,28 |
| | | 810 | 80,85 | 33,30 | 61,82 | 61,06 |
| | | 840 | 79,91 | 30,64 | 59,68 | 59,49 |
| КДзВ,% | | 750 | 76 | 74 | 56 | 64 |
| | | 780 | 84 | 74 | 62 | 64 |
| | | 810 | 86 | 75 | 63 | 68 |
| | | 840 | 85 | 70 | 68 | 68 |

Таблиця 3

**Розрахунковий та фактичний склад склооснов №18 и №19, мас.%**

| Компоненти | Емалева склооснова №18 | | Емалева склооснова №19 | |
|---|---|---|---|---|
| | за синтезом | за аналізом | за синтезом | за аналізом |
| $SiO_2$ | 58,6 | 60,0 | 53,8 | 56,4 |
| $Na_2O$ | 19,0 | 20,0 | 19,0 | 18,6 |
| $TiO_2$ | 14,7 | 14,5 | 19,5 | 19,0 |
| $Al_2O_3$ | 2,4 | 1,4 | 2,4 | 1,5 |
| $F^-$ | 5,3 | 4,1 | 5,3 | 4,5 |
| Сума | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Леткість фтору, % | 22,6 | | 15,1 | |

**Висновки** Виконані дослідження залежностей оптичних характеристик емалевих покриттів від вмісту фтору та природи фторвмішуючої сировини показують:

- що фтор у склад безборних емалей доцільно вводити кріолітом, при цьому знижується забруднення повітряного басейну, а також коливання хімічного складу емалі від плавки до плавки при невеликих відхиленнях температури та тривалості варки;

- оптимальна кількість $Na_3AlF_6$ у складі безборної титанової емалі, що забезпечує високу білизну та блиск становить 10%;

- летючість фтору зі складів безборних титанових емалей становить 15 – 23 мас.%, а це у 1,5 – 2 рази нижче ніж при плавці борвмісних емалей.

**Література**


1. Баринов Ю.Д., Косенко О.І., Смакота Н.Ф., Степанова М.І., Семенченко В.А., Бублик Н.М. - В кн .: Нові види емальованого посуду і технологічні процеси його виготовлення. - Свердловськ: Урал НІІЧМ, 1983. - С. 27 - 32.
2. Мельник М.Т., Ушакова Л.К., Ходскій Л.Г., Родцевіч С.П. Склоутворення і деякі фізико-хімічні властивості скла системи Me2O - B2O3 - Al2O3 - TiO2 - SiO2. // Скло, ситалли і силікати. - 1985. - Вип. 14. - С. 17 - 20.
3. Зубехін А.П., Гузій В.А., Рябова А.В., Яценко Е.А., Філатова Є.В. Розробка складу стекломатріци одношарової білої легкоплавкої емалі для сталі. // Скло і кераміка. - 1999. - №9. - С.10 -12.
4. Царьова Є. В., Спірідонов Ю. А. Дослідження різних видів глушників з метою створення ефекту опалесценції в емалі для дорогоцінних металів // Успіхи в хімії та хімічній технології. - 2013. - Т. 27. - №. 5.
5. Корякова З., Валентина Б. Легкоплавке скло з певним комплексом фізико-механічних властивостей // Компоненти та технології. - 2004. - №. 40.
6. Кіпріану А. А., Карпухіна Н. Г. Оксігалогенідне силікатне скло // Фізика і хімія. скла. - 2006. - Т. 32. - №. 1. - С. 1-22.
7. Большаков В. І. та ін. Склоутворення в силікатних системах і деякі властивості скла з заміною аніону кисню на галоїдні іони // Наука і прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. - 2009. - №. 26.

8. Петцольд. А. Емаль: Переклад з німецького М.В. Серебрякової. Під ред. Варгіна. - М .: Металургіздат, 1958. - 512с.
9. Петцольд А., Пешманн Г. Емаль і емалювання. Довідник. Пер. з нім. -М.: Металургія, 1990. - 574с.

**R e f e r e n c e s**

1. Barinov YU.D., Kosenko A.I., Smakota N.F., Stepanova M.I., Semenchenko V.A., Bublik N.M. – V kn.: Novyye vidy emalirovannoy posudy i tekhnologicheskiye protsessy yeye izgotovleniya. – Sverdlovsk: Ural NIICHM, 1983. – S. 27 – 32.
2. Mel'nik M.T., Ushakova L.K., Khodskiy L.G., RodtsevichS.P. Stekloobrazovaniye i nekotoryye fiziko-khimicheskiye svoystva stekol sistemy Me2O – B2O3 – Al2O3 - TiO2 - SiO2. // Steklo, sitally i silikaty. – 1985. - Vyp. 14. – S. 17 – 20.
3. Zubekhin A.P., Guziy V.A., Ryabova A.V., Yatsenko Ye.A., Filatova Ye.V. Razrabotka sostava steklomatritsy odnosloynoy beloy legkoplavkoy emali dlya stali. // Steklo i keramika. – 1999. - №9. – S.10 -12.
4. Tsareva Ye. V., Spiridonov YU. A. Issledovaniye razlichnykh vidov glushiteley s tsel'yu sozdaniya effekta opalestsentsii u emali dlya dragotsennykh metallov //Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2013. – T. 27. – №. 5.
5. Koryakova Z., Valentina B. Legkoplavkiye stekla s opredelennym kompleksom fiziko-mekhanicheskikh svoystv //Komponenty i tekhnologii. – 2004. – №. 40.
6. Kiprianov A. A., Karpukhina N. G. Oksigalogenidnyye silikatnyye stekla //Fiz. i khim. stekla. – 2006. – T. 32. – №. 1. – S. 1-22.
7. Bol'shakov V. I. i dr. Stekloobrazovaniye v silikatnykh sistemakh i nekotoryye svoystva stekol s zamenoy aniona kisloroda na galoidnyye iony //Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. – 2009. – №. 26.
8. Pettsol'd. A. Emal': Per s nem. M.V. Serebryakovoy. Pod red. Vargina. – M.: Metallurgizdat, 1958. – 512s.
9. Pettsol'd A., Peshmann G. Emal' i emalirovaniye. Spravochnik. Per. s nem. -M.:Metallurgiya, 1990. - 574s.

**Минакова Н.А., Нагорная Т.И., Фурса О.А., Титова Е.В., Кравченко Т.В., Исследование влияния фторидов на свойства безборных титановых емалей**

*В работе проведено исследование влияния количества фторсодержащего сырья в составе шихты и ее природы на оптические характеристики безборных титановых эмалевых покрытий. Выявлено, что увеличение количества криолита до 12,5% приводит к повышению блеска эмалевых покрытий от 79 до 100%, но при повышении температуры снижается белизна эмалевых покрытий от 80 до 73%. Эмалевые покрытия с пониженным содержанием криолита 5 - 7,5% характеризуются недостаточно высокими значениями бели от 69,09 до 78,90%. Наиболее стабильны в температурном интервале обжига 780 - 840 ˚С оптические характеристики наблюдаются для покрытий с содержанием 10% криолита ($Na_3AlF_6$) в шихте, в частности блеск 84 - 86% и бели 79,91 - 81,61%. При этом вводить фтор в состав эмали желательно в виде криолита, введение фтора с помощью соединений $Na_2SiF_4$ и $AlF_3$ ухудшает оптические показатели покрытий. Также в работе были исследованы летучесть фтора при плавлении безборных титановых эмалей с различным содержанием $SiO_2$ и $TiO_2$, и установлено, что выветривание фтора составляет 15 - 23 мас.%, А это в 1,5 - 2 раза ниже, чем при плавке борсодержащих эмалей.*

***Ключевые слова:*** *титановая эмаль, безборная эмаль, фториды, оптико-цветовые характеристики, эмалевые покрытия, интервал обжига, заглушеность.*

**Minakova N.A., Nagornaya T.I., Fursa O.A., Titova H.V., Kravchenko T.V. Researchuence of ftorides on the properties of boron-free titanium enamel.**

*In this work, the effect of the amount of fluorine-containing raw materials in the composition and its nature on the optical characteristics of the boron-free titanium enamel coatings was studied. It was found that an increase in the amount of cryolite up to 12.5% leads to an increase in the gloss of enamel coatings from 79 to 100%, but when the temperature rises, the whiteness of enamel coatings is reduced from 80 to 73%. Enamel coatings with a reduced content of cryolite 5 - 7,5% are characterized by insufficiently high values of whiteness from 69,09 to 78,90%. The most stable in the temperature range of burning 780 - 840 ˚C optical characteristics are observed for coatings containing 10% cryolite ($Na_3AlF_6$) in composition, in particular, the gloss 84 - 86% and whiteness 79,91 - 81,61%. In this case, to inject fluoride into the enamel preferably in the form of cryolite, the introduction of fluorine using compounds of $Na_2SiF_4$ and $AlF_3$ worsens the optical characteristics of the coatings. Also, the fluorine volatility was investigated during the melting boron-free titanium enamels with different contents of $SiO_2$ and $TiO_2$, and it was established that the flux density of the fluorine is 15-23 mass%, which is 1.5-2 times lower than that in the smelting of boron-containing enamels.*

***Keywords:*** *titanium enamel, non-beveled enamel, fluorides, optical-color characteristics, enamel coatings, firing interval, silencing.*

**Мінакова Наталія Олександрівна** – доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Українського державного хіміко-технологічного університету», кандидат технічних наук, доцент; моб.т. +380509083041, e-mail: minakova-nata@ukr.net

**Нагорна Тетяна Іванівна** – доцент кафедри хімічної технології кераміки та скла ДВНЗ «Українського державного хіміко-технологічного університету», кандидат технічних наук, доцент; роб. тел. 47-38-96, e-mail: Nagornaya.nti@gmail.com

**Кравченко Тетяна Володимирівна** – старший викладач кафедри хімічної технології в'яжучих матеріалів ДВНЗ «Українського державного хіміко-технологічного університету».

**Фурса Ольга Олександрівна** – доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Українського державного хіміко-технологічного університету», кандидат технічних наук, доцент, моб.т. +380502124797, e-mail: fursa.olga.ua@gmail.com

**Тітова Олена Василівна** – доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Українського державного хіміко-технологічного університету», кандидат технічних наук, доцент.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Суворін О.В.***

Стаття подана 23.11.2018

УДК 681.326

# АНАЛІЗ АПАРАТУРНИХ ВИТРАТ ПРИ ТЕСТОПРИДАТНОМУ ПРОЕКТУВАННІ КЕРУЮЧИХ ЦИФРОВИХ АВТОМАТІВ

**Мірошник М.А., Пахомов Ю. В., Шкіль О.С., Кулак Е.М., Кучеренко Д.Ю., Філіппенко І.В.**

# ANALYSIS OF HARDWARE COSTS DURING THE DESIGN FOR TESTABILITY OF CONTROL FINITE STATE MACHINES

**Miroschnyk M.A., Pakhomov Y.V., Shkil A.S., Kulak E.N., Kucherenko D.Y., Filippenko I.V.**

*Метою роботи є аналіз апаратурних витрат на забезпечення тестопридатності кінцевих автоматів при різних варіантах організації додаткового переходу між станами автомату в залежності від наявності безумовного переходу, умовного переходу та відсутності переходів між станами автомату, які аналізуються. Висновок про додаткові апаратурні витрати робиться на основі порівняння результатів синтезу тестопридатних HDL-моделей засобами САПР ПЛІС. У роботі вирішено завдання автоматизованого проектування тестопридатних автоматів, що управляють, на основі застосування методів установки автоматів в заданий стан. Оптимальним з точки зору апаратурних витрат способом організації додаткових переходів при установці автоматів, що управляють, у довільний стан, є той перехід, для якого сумарна оцінка апаратурних витрат для функцій збудження мінімальна з урахуванням кодування станів автомата.*

***Ключові слова:*** *керуючий автомат, таблиця переходів-виходів, мова опису апаратури, автоматизований синтез.*

**Вступ.** У сучасному циклі автоматизованого проектування цифрових пристроїв (ЦП) специфікація на пристрій, що проектується, задається, як правило, у вигляді алгоритму функціонування, представленого на одній з мов опису апаратури (Hardware Description Language, HDL). Для такого способу подання ЦП застосування структурних методів діагностування, орієнтованих на виявлення константних несправностей, стає мало ефективним. З іншого боку, застосовувати функціональні методи досить складно з огляду на розмірності сучасних цифрових пристроїв.

Одним з поширених способів вихідного опису спеціалізованих ЦП обробки даних та управління є кінцевий автомат, а формою його подання – таблиця переходів-виходів (ТПВ) і побудований на її основі граф переходів автомата. Зважаючи на складність діагностичних експериментів (ДЕ) з автоматами, були запропоновані різні методи забезпечення тестопридатності, тобто модифікації автоматних моделей ЦП, які передбачають введення апаратурної надлишковості, як на структурному рівні шляхом введення додаткових входів і виходів для забезпечення простоти проведення ДЕ, так і на функціональному рівні за рахунок внесення доповнень та змін у функціональний опис автомата, а саме, в його ТПВ. Такий підхід дозволяє зробити тестопридатний автомат легкотестованим, тобто таким, для якого завдання забезпечення тестового діагностування вирішуються максимально просто в межах встановлених витрат на проектування. Зробити об'єкт легкотестованим можна шляхом скорочення вартості одного або декількох головних чинників, що визначають трудомісткість тестового діагностування або вартість додаткових витрат апаратури.

Методи підвищення тестопридатності ЦП шляхом внесення в схемну реалізацію апаратурної надлишковості досить розвинені та широко використовуються при проектуванні. У класичній праці по розробці і класифікації структурних методів тестопридатного проектування [1] введено поняття «керованості» та «спостережуваності», як основи оцінки структурної тестопридатності. Викладено принципи організації зсувних регістрів в запам'ятовуючій частині ЦП і побудова на їх основі сканованого шляху. Крім того запропоновані модифікації відомих структурних методів побудови тестів при використанні методів сканування. Практичні рекомендації щодо використання структурних методів підвищення тестопридатності ЦП та побудови алгоритмів діагностування на їх основі детально викладені в [2].

У фундаментальній праці [3] розглянуті методи вбудованого самотестування, як основи забезпечення тестопридатності пристроїв, що проектуються. Показано застосування технології BIST (built-in self-test) при проектуванні цифрових систем на ПЛІС. У роботі [4] отримали подальший розвиток ідеї тестопридатного проектування на основі технології граничного сканування (Boundary Scan) з використанням порту JTAG. Розглянуто стандарти граничного сканування IEEE 1149.x, IEEE 1500 і IEEE, а також стандарт тестопридатного проектування IEEE 1687.

Функціональні методи тестопридатного проектування ЦП детально розглянуті в [5]. Для цифрових автоматів, представлених у формі ТПВ, введені поняття діагностованих і визначно-діагностованих класів автоматів та запропоновані способи приведення ТПВ автоматів до зазначених класів. Розглянуто процедури проведення ДЕ над автоматами з використанням установчих, синхронізуючих, діагностичних та характеристичних послідовностей. Крім того, обгрунтована ідея підвищення тестопридатності автомата за рахунок внесення апаратурною надмірності шляхом розширення вхідного алфавіту, вихідного алфавіту та алфавіту станів.

В [6] розглянуто структурні моделі кінцевих автоматів, які дозволяють використовувати значення вихідних змінних в якості кодів внутрішніх станів. Даний підхід застосований при синтезі кінцевих автоматів Мілі на ПЛІС, що дозволило знизити вартість реалізації в 1,5-2 рази. Також запропонований спосіб кодування станів дозволяє знизити споживану потужність схемних реалізацій кінцевих автоматів [7].

У роботі [8] з метою підвищення тестопридатності керуючого кінцевого автомату авторами викладена концепція введення апаратурної надлишковості в модель абстрактного автомату, яка полягає у додаванні стовпця Sh у таблицю переходів-виходів (ТПВ) (додаткова дуга Sh у графі переходів автомата), що дає змогу встановити автомат в будь який стан не більше, ніж за n-1 тактів. При Sh = 1 автомат працює в режимі установки в будь-який заданий стан, а при Sh = 0 автомат реалізує заданий алгоритм. При автоматизованому синтезі вказаних автоматів з використанням моделей на мовах опису апаратури (HDL-моделей) введення додаткового стовпця реалізується шляхом додавання сигналу Sh в опис функції переходів у двохпроцесному автоматному шаблоні HDL-моделі. При синтезі це реалізувалося у додаткові мультиплексори, які дозволяли організувати сканування станів автомату в процесі проведення діагностичного експерименту.

Зазначено, що додаткові апаратурні витрати при цьому не перевищують 25-30% в залежності від типу автомата та способу кодування його станів, але при цьому використовувався природний порядок обходу станів автомата, що безумовно впливає на додаткові апаратурні витрати.

Таким чином актуальною є задача мінімізації додаткових апаратурних витрат за рахунок організації оптимального обходу станів автомату.

Мета статті – аналіз апаратурних витрат на забезпечення тестопридатності кінцевих автоматів при різних варіантах організації додаткового переходу між станами автомату в залежності від наявності безумовного переходу, умовного переходу та відсутності переходів між станами автомату, які аналізуються. Апаратурні витрати аналізуються на основі порівняння результатів синтезу тестопридатності HDL-моделей засобами САПР ПЛІС.

**Аналіз апаратурних витрат при автоматизованому проектуванні цифрових автоматів.** У якості абстрактної моделі ЦУ з пам'яттю будемо використовувати кінцевий автомат, який визначається п'ятіркою $W =< X, A, Y, \delta, \lambda >$, де $X = \{x_1, x_2, ..., x_m\}$ – безліч букв вхідного алфавіту; $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$ – множина станів автомата; $Y = \{y_1, y_2, ..., y_r\}$ – множина букв вихідного алфавіту; $\delta(a_i, x_k) = a_j$ – функція переходів автомата, $\lambda(a_i, x_k) = y_\alpha$ – функція виходів автомата.

При високорівневому проектуванні цифрових пристроїв управління на основі кінцевих автоматів формою подання специфікації проектованого пристрою є таблиця переходів-виходів (state table) або граф переходів автомата (state diagram). Одним із способів опису моделей ЦП в формі кінцевих автоматів на мові VHDL є автоматний шаблон, тобто спосіб опису моделей керуючих кінцевих автоматів, специфікація на які задана у вигляді ТПВ або графа переходів. Це спеціальна структура VHDL-моделі, в якій функції переходів і виходів виділені в окремі процеси (процес), а призначення нового стану здійснюється у спеціальному процесі, пов'язаному з синхронізацією. При проектуванні тестопридатних керуючих автоматів апаратурну надмірність, що забезпечує легкотестованість, доцільно вносити ще на початковому етапі проектування, тобто при побудові HDL-моделей пристроїв, що проектуються. Легкотестованим будемо називати кінцевий автомат, для якого можна побудувати діагностичний експеримент мінімальної довжини шляхом забезпечення встановлення автомата у будь-який стан за мінімальне число тактів.

Таким чином, дана функціональна модель абстрактного автомата у вигляді ТПВ або графа переходів і на його основі будується VHDL-модель у формі автоматного шаблону. Необхідно розглянути різні способи внесення апаратурною надлишковості в VHDL-модель для забезпечення тестопридатності, та вибрати оптимальний спосіб з точки зору додаткових апаратурних витрат. Апаратурна надлишковість в VHDL-моделях забезпечується шляхом внесення в HDL-код додаткових умовних операторів, що забезпечують

побудову сканованого шляху в запам'ятовуючий частини автомата, що підтверджується результатами автоматизованого синтезу. Оптимальним з точки зору внесення додаткових апаратурних витрат будемо вважати той спосіб, який забезпечує мінімальні додаткові апаратурні витрати при оцінці по Квайну вентильного еквівалента схеми, що синтезується в кристали програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) в автоматичному режимі інструментальними засобами систем автоматизованого проектування (САПР) ЦП.

Розглянемо можливі варіанти додавання переходу з сигналом Sh між вершинами графу переходів (станів автомату) $a_i$ та $a_j$.

Перший варіант полягає в додаванні Sh до безумовного переходу $(a_0 \to a_1)$ у автоматі Мура. Відмітимо, що для використання наведених фрагментів графу переходів в процесі автоматизованого синтезу у графі мають враховуватися усі варіанти переходів та зворотна дуга (що забезпечує відсутність вершин, які «висять», рис. 1(а)). ТПВ фрагментів автомату для початкового графу та графу з Sh наведені на рис.1 (б). В результаті між вершинами виявляються дві дуги з сигналами Sh та $\overline{Sh}$ (рис. 1 (в)).

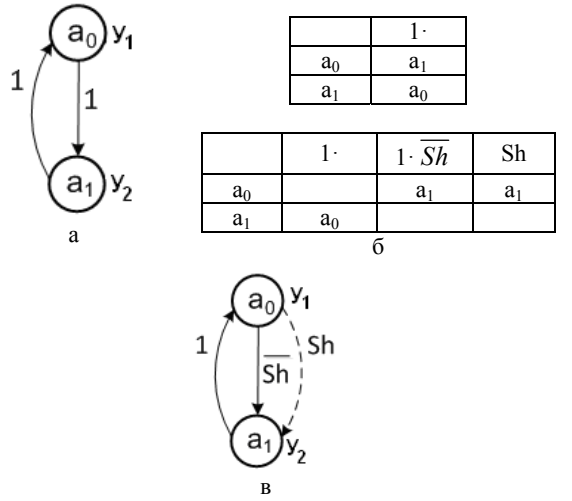



Рис. 1. Додавання Sh до безумовного переходу

В даному випадку функція переходу в стан $a_1$ матиме вигляд: $a_1 = a_0 Sh \vee a_0 \overline{Sh} = a_0$.

Застосовуючи закон склеювання, отримуємо $a_0$, що означає відсутність додаткових витрат апаратури при реалізації мінімізованого виразу. Для кодування двох станів автомату використовується один D-тригер, $a_0$ кодується 0, $a_1$ кодується 1. Таким чином, вираз $a_1 = a_0$ фактично реалізується інвертором.

Розглянемо VHDL-модель наведеного фрагменту автомату (рис. 2) та виконаємо її автоматизований синтез (рис. 3).

Нижче наведені результати синтезу даної VHDL-моделі з використанням пакету САПР: XILINX ISE 10.1, плата Spartan 3E, мікросхема FPGA XC3S500E, Package FG 320. На рис. 3 наведена схемна реалізація автомату, яка підтверджує попередні викладки.

```
library IEEE;
use IEEE.std_logic_1164.all;
entity FSM is port (Sh, Reset, Clk: in STD_LOGIC;
y1, y2: out STD_LOGIC); end;

architecture Moore of FSM is
        type State_type is (a0, a1);
        signal State, NextState: State_type;
begin
Sreg0_CurrentState: process (Clk, reset) begin
    if Reset='1' then State <= a0;
   elsif Clk'event and Clk = '0 then
       State <= NextState;     end if;
end process;
Sreg0_NextState: process (State, Sh) begin
  case State is
        when  a0=> if sh='1' then NextState <= a1;
                   else NextState <= a1;   end if;
        when  a1=>  NextState <= a0;
        when others => NextState <= a0;
  end case;
end process;
        y1 <= '1' when State=a0 else '0';
        y2 <= '1' when State=a1 else '0';
end;
```

Рис. 2. VHDL-модель фрагменту автомату з безумовним переходом

*Synthesizing Unit <FSM>. Related source file is "C:/Temp/shkil2018/shkil_2states_2018/fsm.vhd".*

*WARNING:Xst:647 - Input <Sh> is never used. This port will be preserved and left unconnected if it belongs to a top-level block or it belongs to a sub-block and the hierarchy of this sub-block is preserved.*

*Found 1-bit register for signal <State<0>>.*

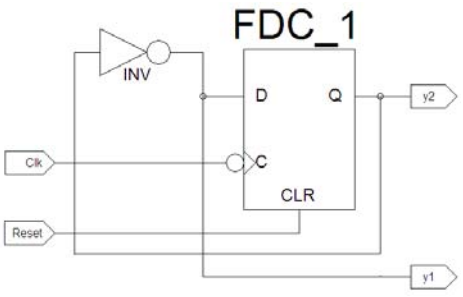
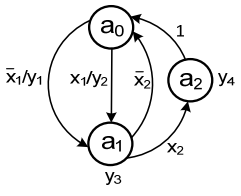



Рис. 3. Результати синтезу VHDL-моделі автомату з безумовним переходом

Другий варіант полягає в додаванні Sh до переходів між $a_i$ і $a_j$ при відсутності переходів в інші стани, відмінні від $a_j$. Ця ситуація характерна для автомата Мілі, але для аналізу цієї ситуації будемо використовувати змішаний автомат на три стани, у якого стани a1 та a2 відображаються моделлю Мура, а переходи $(a_0 \to a_1)$ – моделлю Мілі. Граф переходів вказаного автомата зображений на рис. 4 (а), а його ТПВ – на рис. 4 (б). На рис. 4 (б) в ТПВ для спрощення сигнал $\overline{Sh}$ не вказується. Граф

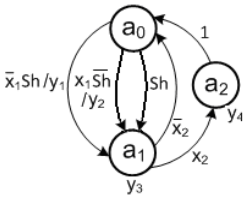
переходів автомату з сигналами Sh та $\overline{Sh}$ наведений на рис. 4 (в).




а

| | 1· | $x_1$ | $\overline{x_1}$ | $x_2$ | $\overline{x_2}$ | Sh |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $a_0$ | | $a_1$/ $y_2$ | $a_1$/ $y_1$ | | $a_1$ | $a_1$ |
| $a_1/y_3$ | | | | $a_2$ | $a_0$ | |
| $a_2/y_4$ | $a_0$ | | | | | |

б

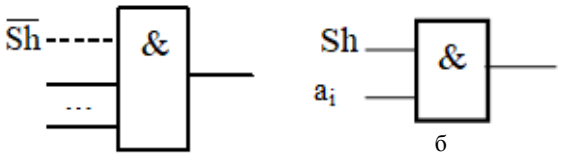



в

Рис. 4. Додавання Sh при наявності переходів тільки між $a_0$ та $a_1$

Функція переходу в стан $a_1$ для двох вихідних переходів і доданого переходу Sh буде мати вигляд: $a_1 = a_0 Sh \vee a_0 x_1 \overline{Sh} \vee a_0 \overline{x_1}\ \overline{Sh} = a_0 Sh \vee a_0 \overline{Sh} = a_0$ .

Застосовуючи поетапно закон склеювання, отримуємо $a_0$, що означає відсутність додаткових витрат апаратури при реалізації мінімізованого виразу. Для будь-якого числа дуг, укладених між $a_i$ і $a_j$, результат буде таким же. При реалізації вихідного виразу додаткові апаратурні витрати – додатковий вхід $\overline{Sh}$ в усі вентилі, що реалізують терми вихідної функції переходів (рис. 5 (а)) і вентиль, який реалізує терм $a_i$Sh (рис. 5 (б)).




а б

Рис. 5. Додаткові апаратурні витрати при наявності переходів тільки між $a_0$ та $a_1$

Розглянемо VHDL-модель наведеного фрагменту автомату (рис. 6) та виконаємо її автоматизований синтез (рис. 7). Для зменшення обсягу VHDL-коду в подальшому доцільно наводити тільки фрагменти архітектури VHDL-моделей, а саме, тільки функції переходів.

```
Sreg0_NextState: process (State, Sh, x1, x2)
begin
 case State is
  when  a0=>if sh='1' then NextState <= a1;
              elsif x1 ='1' then NextState <= a1; y2 <= '1';
              else NextState <= a1; y1 <= '1';
              end if;
  when  a1=>if x2='1' then NextState <= a2;
               else NextState <= a0;
               end if;
  when  a2=> NextState <= a0;
  when others => NextState <= a0;
  end case;
end process;
       y3 <= '1' when State=a0 else '0';
       y4 <= '1' when State=a1 else '0';
end;
```

Рис. 6. Фрагмент VHDL-моделі автомату з переходами тільки між $a_0$ та $a_1$

*Found finite state machine <FSM_0> for signal <State>.*
*Analyzing FSM <FSM_0> for best encoding.*
*Optimizing FSM <State/FSM> on signal <State[1:2]> with gray encoding.*
*State | Encoding a0 | 00 a1 | 01 a2 | 11.*

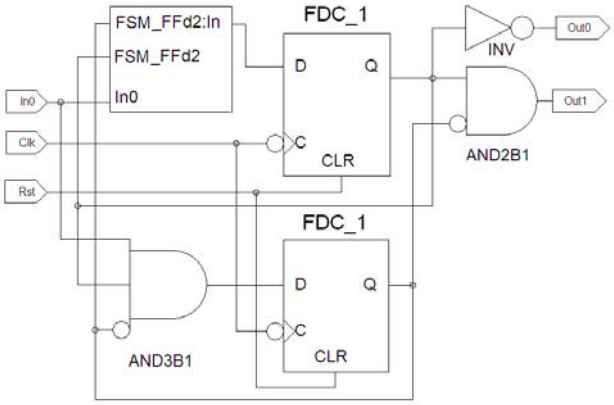



Рис. 7. Результати синтезу VHDL-моделі автомату з переходами тільки між $a_0$ та $a_1$

Отримана схема підтверджує, що сигнал Sh (In0) через вентиль AND додається до функції збудження кожного з тригерів.

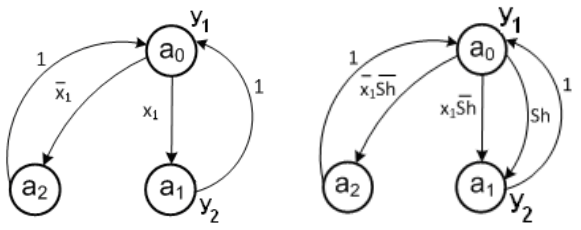
Третій варіант полягає в додаванні Sh до переходів між $a_i$ і $a_j$ при наявності переходів і в інші стани, відмінні від $a_j$ (рис. 8 (а)).

При цьому функція переходу в стан $a_i$ ($a_1$) для одного вихідного переходу, доданого переходу Sh та переходу в стан $a_k \neq a_j$ (рис. 8 (а)) матиме вигляд:

$$a_j = a_i Sh \vee a_i x_1 \overline{Sh} = a_i (Sh \vee x_1 \overline{Sh}) = a_i Sh \vee a_i x_1 \ .$$

Вираз $a_i Sh \vee a_i x_1$ отримаємо застосовуючи закон Блейка-Порецького. Це означає, що додаткові апаратурні витрати при реалізації мінімізованого виразу для функції переходу в стан $a_j$ – вентиль, який реалізує терм $a_i$Sh (рис. 5 (б)). При реалізації вихідного виразу для функції переходу в $a_j$ додаткові апаратурні витрати – вентиль, який

реалізує терм $a_i$Sh плюс додатковий вхід в вентиль, який реалізує терм вихідної функції переходів (рис. 5 (а) та 8 (в)). Якщо переходів $a_i \rightarrow a_j$ в вихідному графі більше одного, то для кожного з цих переходів додається додатковий вхід в вентиль.




а в

| | | 1· | $x_1$ | $\overline{x_1}$ | Sh |
|---|---|---|---|---|---|
| $a_0$ | $y_1$ | | a1 | $a_2$ | $a_1$ |
| $a_1$ | $y_2$ | $a_0$ | | | |
| $a_2$ | | $a_0$ | | | |

б

Рис. 8. Додавання Sh при наявності переходів між $a_0$ і $a_1$ та інших вихідних переходів

Крім того, в даному варіанті, $\forall(a_i \rightarrow a_k)$, $a_k \neq a_j$ переходи $a_i \rightarrow a_k$ також несуть додаткові апаратурні витрати у вигляді додаткового входу $\overline{Sh}$ у вентиль, який реалізує терм вихідної функції переходів. Для прикладу на рис. 8 (в) $a_k = a_i \overline{x_1}\,\overline{Sh}$.

Розглянемо VHDL-модель наведеного фрагменту автомату (рис. 9) та виконаємо її автоматизований синтез (рис. 10).

```
Sreg0_NextState: process (State, Sh, x)
begin
  case State is
    when  a0=> if sh='1' then NextState <= a1;
                  elsif x ='1' then NextState <= a1;
                  else NextState <= a2;
                  end if;
    when  a1=>  NextState <= a0;
    when  a2=>  NextState <= a0;
    when others => NextState <= a0;
  end case;
end process;
     y1 <= '1' when State=a0 else '0';
     y2 <= '1' when State=a1 else '0';
end;
```

Рис. 9. Фрагмент VHDL-моделі автомату при наявності переходів $a_0 \rightarrow a_1$ та інших переходів

Четвертий варіант полягає в додаванні переходу з Sh між $a_i$ і $a_j$ при відсутності переходу $a_i \rightarrow a_j$ взагалі що показано на рис. 11 (а) та рис. 11 (в).

Тут додаткові апаратурні витрати – вентиль, який реалізує терм $a_i$Sh плюс додатковий вхід $\overline{Sh}$ у вентилі, що реалізують $\forall(a_i \rightarrow a_k)$, $a_k \neq a_j$ терм вихідної функції переходів. Слід також зазначити, що інші дуги $\forall(a_s \rightarrow a_j)$, $a_s \neq a_i$ на переходи $a_s \rightarrow a_j$ Sh не впливає.

*Analyzing FSM <FSM_0> for best encoding.*
*Optimizing FSM <State/FSM> on signal <State[1:2]> with speed1 encoding.*
*State | Encoding a0 | 10 a1 | 01 a2 | 00.*

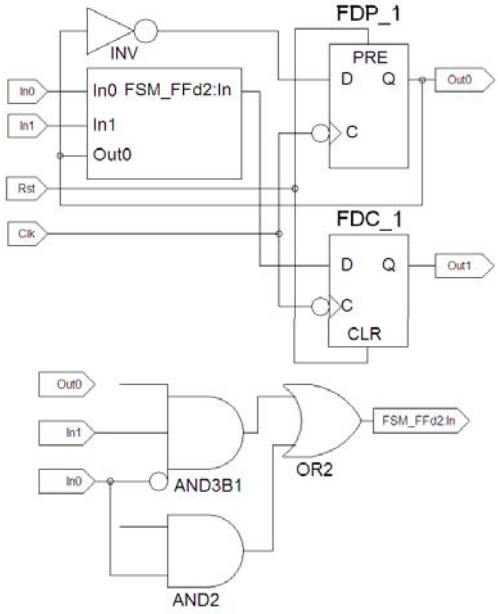
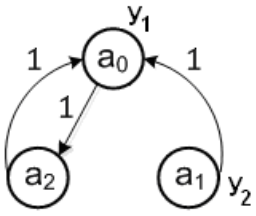


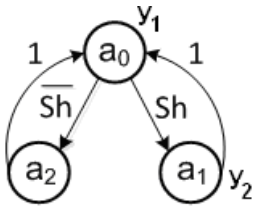

Рис. 10. Результати синтезу VHDL-моделі автомату при наявності переходів між $a_0$ і $a_1$ та інших вихідних переходів




а

| | | 1 | $\overline{Sh}$ | Sh |
|---|---|---|---|---|
| $a_0$ | $y_1$ | $a_2$ | $a_2$ | $a_1$ |
| $a_1$ | $y_2$ | $a_0$ | | |
| $a_2$ | | $a_0$ | | |

б




в

Рис. 11. Додавання Sh при відсутності переходів між $a_0$ і $a_1$

Розглянемо VHDL-модель наведеного фрагменту автомату (рис. 12) та виконаємо її автоматизований синтез (рис. 13).

Підсумовуючи вищенаведене можна визначити наступне.

1) Для вибору шляху призначення додаткових переходів з Sh однозначно з точки зору мінімізації витрат апаратури по спадаючому пріоритету йде 1 варіант, за ним другий, а потім 3 або 4.

2) При обранні 1-го або 2-го варіанту при реалізації не мінімізованого виразу функції переходів, краще обирати 1-й, так він менше за кількістю вихідних дуг, а значить, буде менше

додаткових входів $\overline{Sh}$ в вентилі. При реалізації мінімізованого виразу функції переходів, немає різниці 1-й або 2-й, в обох випадках немає додаткових витрат апаратури.

```
Sreg0_NextState: process (State, Sh)
begin
  case State is
    when  a0=> if sh='1' then NextState <= a1;
                         else NextState <= a2;
                         end if;
    when  a1=>  NextState <= a0;
    when  a2=>  NextState <= a0;
    when others => NextState <= a0;
  end case;
end process;
y1 <= '1' when State=a0 else '0';
y2 <= '1' when State=a1 else '0';
end;
```

Рис. 12. Фрагмент VHDL-моделі автомату при відсутності переходів між $a_0$ і $a_1$

*Optimizing FSM <State/FSM> on signal <State[1:2]> with speed1 encoding.*
*State | Encoding : a0 | 10 a1 | 01 a2 | 00.*

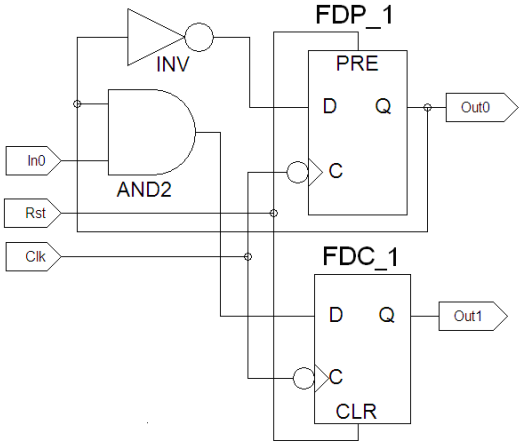
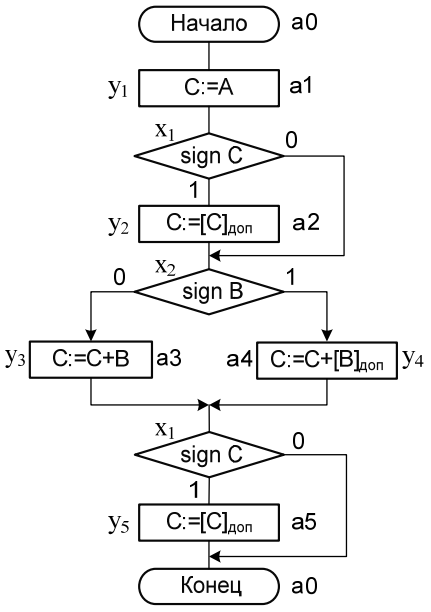



Рис. 13. Результати синтезу VHDL-моделі автомату при відсутності переходів між $a_0$ і $a_1$

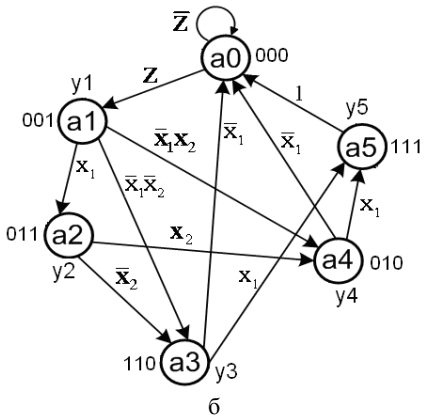
3) Для обрання між 3 і 4 варіантами визначальним швидше буде число вихідних дуг, що задовольняють умові: $\forall(a_i \to a_k)$, $a_k \neq a_j$. В якому варіанті менше, такий і вибирати, оскільки додатковий вентиль на перехід $a_i \to a_j$ з Sh йде в обох випадках. Це для способу реалізації мінімізованого виразу функції переходів.

Для способу реалізації не мінімізованого виразу функції переходів потрібно в варіанті 3 для підрахунку числа дуг для порівняння з варіантом 4 до умови: $\forall(a_i \to a_k)$, $a_k \neq a_j$, додати $\forall(a_i \to a_j)$ крім $a_i \to a_j$ з Sh.

**Тестопридатне проектування керуючого автомату.** В якості прикладу побудови тестопридатного керуючого автомату (КА) розглядатимемо мікропрограмний автомат (МПА) складання чотирирозрядних двійкових знакових чисел в додатковому модифікованому коді. Для цієї мікропрограми в якості КА розглядається автомат Мура. На рис. 14 (а) показаний фрагмент змістовної граф-схеми алгоритму (ГСА) вказаної мікропрограми з відмітками станів КА для автомата Мура. Кожній операторній вершині ГСА (стану автомата Мура) відповідає набір сигналів $y_i$, що керують, кожен з яких ініціює виконання певної мікрооперації операційного автомату. Для спрощення подальшого викладу в цьому фрагменті мікропрограми не аналізується результат складання на переповнювання розрядної сітки, що в цілому не міняє структури мікропрограми. На рис. 14 (б) наведений змістовний граф переходів КА Мура для цієї мікропрограми.




а




б

Рис. 14. Фрагмент ГСА МПА складання (а) та граф переходів його КА (б)

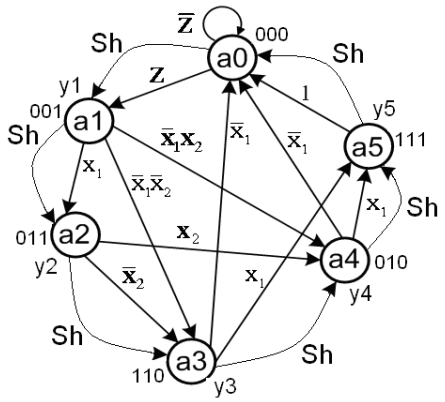
Таким чином при обранні пари станів автомата, між якими встановлюється додатковий перехід (дуга Sh у графі переходів автомата), обирається той стан-наступник, для якого сумарна оцінка апаратурних витрат для функцій збудження мінімальна з

урахуванням кодування станів автомата. При цьому відсутність переходів між станами прирівнюється до переходу з однією умовою.

На рис. 15 (а) наведені таблиця переходів-виходів зі стовбцем Sh та граф переходів з додатковими дугами Sh (рис. 15 (б)) при організації обходу вершин графу за природною нумерацією (перший варіант), а на рис. 16 – другий варіант з урахуванням складності функцій збудження.

| a/y | | 1 | Z | $x_1$ | $\overline{x_1}$ | $x_2$ | $\overline{x_2}$ | $\overline{x_1 x_2}$ | $\overline{x_1}x_2$ | Sh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a0 | | | a1 | | | | | | | a1 |
| a1 | y1 | | | a2 | | | | a3 | a4 | a2 |
| a2 | y2 | | | | | a4 | a3 | | | a3 |
| a3 | y3 | | | a5 | a0 | | | | | a4 |
| a4 | y4 | | | a5 | a0 | | | | | a5 |
| a5 | y5 | a0 | | | | | | | | a0 |

а

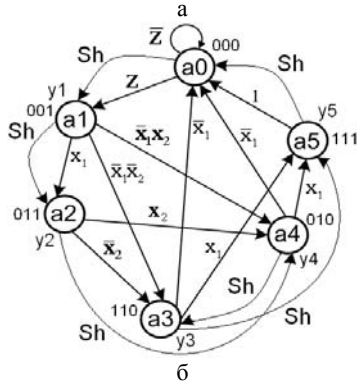



б

Рис. 15. Перший варіант ТПВ тестопридатного керуючого МПА (а) та його граф переходів (б)

| a/y | | 1 | Z | $x_1$ | $\overline{x_1}$ | $x_2$ | $\overline{x_2}$ | $\overline{x_1 x_2}$ | $\overline{x_1}x_2$ | Sh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a0 | | | a1 | | | | | | | a1 |
| a1 | y1 | | | a2 | | | | a3 | a4 | a2 |
| a2 | y2 | | | | | a4 | a3 | | | a4 |
| a3 | y3 | | | a5 | a0 | | | | | a5 |
| a4 | y4 | | | a5 | a0 | | | | | a3 |
| a5 | y5 | a0 | | | | | | | | a0 |

а




б

Рис. 16. Другий варіант ТПВ тестопридатного керуючого МПА (а) та його граф переходів (б)

Розглянемо VHDL-моделі тестопридатних МПА з різним способом розміщення Sh (рис. 15 та 16)) та виконаємо її автоматизований синтез. Для скорочення місця наведемо VHDL-модель для першого варіанту та на ній вкажемо зміни, характерні для другого варіанту (рис. 17).

```
architecture Moore of FSM is
        type State_type is (a0, a1, a2, a3, a4, a5);
        signal State, NextState: State_type;
begin
Sreg0_CurrentState: process (Clk, reset)
begin
          if Reset='1' then State <= a0;
          elsif Clk'event and Clk = '0'  then State <=
NextState;
          end if;
end process;
Sreg0_NextState: process (State, x1, x2,  Z, Sh)
begin
case State is
 when  a0=> if  sh='1' then NextState <= a1;
              elsif Z='1' then NextState <= a1;
              else NextState <= a0;
              end if;
 when  a1=> if sh='1' then NextState <= a2;
              elsif x1='1' then NextState <= a2;
              elsif x2='1' then NextState <= a4;
              else NextState <= a3;
              end if;
 when  a2=> if sh='1' then NextState <= a3;  – – (a4)
              elsif x2='1' then NextState <= a4;
              else NextState <= a3;
              end if;
 when  a3=> if sh='1' then NextState <= a4;  – – (a5)
               elsif x1='1' then NextState <= a5;
              else NextState <= a0;
              end if;
 when  a4=> if  sh='1' then NextState <=a5;  – – (a3)
              elsif x1='1' then NextState <= a5;
              else NextState <= a0;
              end if;
when  a5=>if sh='1' then NextState <= a0;
             else NextState <= a0;
             end if;
 when others => NextState <= a0;
 end case;
end process;
          y1 <= '1' when State=a1 else '0';
          y2 <= '1' when State=a2 else '0';
          y3 <= '1' when State=a3 else '0';
          y4 <= '1' when State=a4 else '0';
          y5 <= '1' when State=a5 else '0';
end;
```

Рис. 17. Архітектура VHDL-моделі тестопридатного керуючого МПА складання

На рис. 18 наведена часова діаграма моделювання діагностичного експерименту (ДЕ) по обходу станів керуючого автомату за першим варіантом розміщення додаткових дуг Sh.

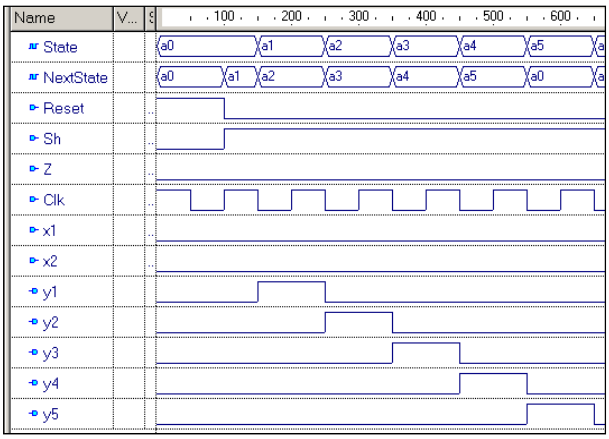



Рис. 18. Часова діаграма моделювання ДЕ по обходу станів керуючого автомату

На рис. 19 наведений протокол автоматизованого синтезу зазначених VHDL-моделей. Відмітимо, що кодування станів для всіх варіантів є незмінним.

*Analyzing FSM <FSM_0> for best encoding.*
*Optimizing FSM <State/FSM> on signal <State[1:3]> with gray encoding.*
*State | Encoding : a0| 000 a1| 001 a2 | 011 a3 | 110 a4 | 010 a5 | 111.*

Рис. 19. Протокол автоматизованого синтезу VHDL-моделей

В аналітичному вигляді функція збудження тригеру першого розряду (при першому варіанті розміщення дуг Sh) буде:

$$D_1 = (Q_1\overline{Q_3} \vee \overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3})x_1\overline{Sh} \vee \overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3}\,\overline{x_2}\,\overline{Sh} \vee \vee (\overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3} \vee \overline{Q_1}Q_2Q_3)Sh \vee \overline{Q_2}Q_3\,x_1x_2\overline{Sh},$$

а для другого варіанту:

$$D_1 = (Q_1\overline{Q_3} \vee \overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3})x_1\overline{Sh} \vee \overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3}\,\overline{x_2}\,\overline{Sh} \vee \vee (Q_1\overline{Q_3} \vee \overline{Q_1}Q_2\overline{Q_3})Sh \vee \overline{Q_2}Q_3\,x_1x_2\overline{Sh}.$$

Таким чином, зменшення буде на 1 вхід вентиля та 1 інвертор, тобто на 4 % при оцінці по Квайну.

Загальні апаратурні витрати по Квайну при синтезі для схеми без Sh – 133, при першому варіанті схеми з Sh за умови кодування станів КА, яке формує САПР, – 184, а при другому варіанті – 187, що обумовлює збільшення апаратурних витрат відповідно на 40% та 38%. Проведений аналіз показує, що при обранні переходу розміщення Sh слід враховувати не тільки складність функції збудження, а й кодування станів автомату.

**Висновки.** У роботі представлений метод автоматизованого проектування тестопридатних керуючих автоматів шляхом внесення апаратної надлишковості. Модель автомата представлена на мові VHDL в формі автоматного шаблону. Способом вирішення є внесення додаткових фрагментів VHDL-коду, що забезпечують примусову установку автомата в довільний стан. Запропоновано метод розширення таблиці переходів-виходів автомата, який забезпечує режим обходу всіх вершин графа переходів автомата (станів) в режимі діагностування. Проаналізовані апаратурні витрати при різних варіантах організації додаткового переходу між станами автомату в залежності від наявності безумовного переходу, умовного переходу та відсутності переходів між станами автомату, які аналізуються. При обранні додаткового переходу (дуга Sh у графі переходів автомата), обирається той стан-наступник, для якого сумарна оцінка апаратурних витрат для функцій збудження мінімальна з урахуванням кодування станів автомата. Зазначений підхід підвищує керованість станів автомата, що значно покращує його тестопридатність. Моделювання розширених VHDL-моделей автомата засобами Active-HDL підтвердило працездатність даного підходу. Синтез даних моделей засобами САПР XILINX ISE підтвердив отримання тестопридатних структур та підтвердив отримання мінімальних апаратурних витрат запропонованого методу.

Наукова новизна роботи полягає в подальшому розвитку методу оптимізації апаратурних витрат при підвищенні тестопридатності кінцевих автоматів за рахунок розширення вхідного алфавіту в HDL-моделях в формі автоматного шаблону, що дало можливість автоматизувати процес проектування тестопридатних автоматів з мінімальними апаратурними витратами.

Практична цінність отриманих результатів полягає в розробці процедур внесення надлишковості та розширення вхідного алфавіту в HDL-моделях кінцевих автоматів в формі автоматного шаблону шляхом внесення додаткових умовних операторів в HDL-код, які забезпечують установку автомата в довільний стан при мінімальних апаратурних витратах. Розроблені процедури можуть бути застосовані при розробці додаткового програмного модулю САПР цифрових пристроїв, який буде в автоматизованому режимі формувати HDL-код тестопридатного кінцевого автомата.

**Література**

1. Беннеттс Р.Дж. Проектирование тестопригодных логических схем: пер. с англ. / Р. Дж. Беннеттс. – М.: Радио и связь, 1990. – 176 с.
2. Горяшко А.П. Проектирование легко тестируемых дискретных устройств: идеи, методы, реализация / А.П. Горяшко //Автоматика и телемеханика. – 1984. – № 7. – С. 5-35.
3. Stroud C.E. A designer's guide to built-in self-test / Charles E. Stroud. – Kluwer Academic Publishing, 2002. – 319 p.
4. Городецкий А. Введение в технологии JTAG и DFT. Тестирование в технологиях граничного сканирования и тестопригодное проектирование / Ами Городецкий //

Palmarium Academic Publishing, Germany, 2012. – 308 с.
5. Тоценко В.Г. Алгоритмы технического диагностирования цифровых устройств / В.Г. Тоценко. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.
6. Solov'ev V.V. Minimization of mealy finite-state machines by using the values of the output variables for state assignment / V.V. Solov'ev // Journal of Computer and Systems Sciences International. – January 2017.– Volume 56, Issue 1. – P. 96-104.
7. Solov'ev V.V. Minimization of Power Consumption of Finite State Machines by Splitting Their Internal States / T.N.Grzes, V.V. Solov'ev // Journal of Computer and Systems Sciences International.– 2015. – Vol. 54, No. 3. – P. 367-374.
8. Shkil A. Design Automation of Testable Finite State Machines / M.Miroschnyk, Y. Pakhomov, E. German, A. Shkil, E. Kulak, D. Kucherenko // Proceedings of the International Sympos. EWDTS'2017, September 29-October 2, 2017 – Novi Sad, Serbia, 2017. – P.203-208.

**R e f e r e n c e s**

1. Bennetts R.G. Proektirovanie testoprigodnyh logicheskih shem: per. s angl. / R. G. Bennetts. – M.: Radio i svjaz', 1990. – 176 p.
2. Gorjashko A.P. Proektirovanie legko testiruemyh diskretnyh ustrojstv: idei, metody, realizacija / A.P. Gorjashko // Avtomatika i telemehanika. – 1984. – № 7. – P. 5-35.
3. Tocenko V.G. Algoritmy tehnicheskogo diagnostirovanija cifrovyh ustrojstv / V.G. Tocenko. – M.: Radio i svjaz', 1985. – 240 p.
4. Stroud C.E. A designer's guide to built-in self-test / Charles E. Stroud. – Kluwer Academic Publishing, 2002 .– 319 p.
5. Gorodetsky A. Introduction to JTAG and DFT technology. Testing in edge scanning technologies and testable design /A. Gorodetsky // Palmarium Academic Publishing. – Germany, 2012.– 308 p.
6. Solov'ev V.V. Minimization of mealy finite-state machines by using the values of the output variables for state assignment / V.V. Solov'ev // Journal of Computer and Systems Sciences International. – January 2017.– Volume 56, Issue 1. – P. 96-104.
7. Solov'ev V.V. Minimization of Power Consumption of Finite State Machines by Splitting Their Internal States / T.N.Grzes, V.V. Solov'ev // Journal of Computer and Systems Sciences International.– 2015. – Vol. 54, No. 3. – P. 367-374.
8. Shkil A. Design Automation of Testable Finite State Machines / M.Miroschnyk, Y. Pakhomov, E. German, A. Shkil, E. Kulak, D. Kucherenko // Proceedings of the International Sympos. EWDTS'2017, September 29-October 2, 2017 – Novi Sad, Serbia, 2017. – P.203-208.

**Мирошник М.А., Пахомов Ю. В., Шкиль А.С., Кулак Э.Н., Кучеренко Д.Е., Филиппенко И.В.**

*Целью работы является анализ аппаратурных затрат на обеспечение тестопригодности конечных автоматов при различных вариантах организации дополнительного перехода между состояниями автомата в зависимости от наличия безусловного перехода, условного перехода и отсутствия переходов между состояниями автомата, которые анализируются. Вывод по дополнительным аппаратурным затратам делается на основе сравнения результатов синтеза тестопригодных HDL-моделей средствами САПР ПЛИС. В работе решена задача автоматизированного проектирования тестопригодных управляющих автоматов на основе применения методов установки автоматов в заданное состояние. Оптимальным с точки зрения аппаратурных затрат способом организации дополнительных переходов при установке управляющих автоматов в произвольное состояние, является тот переход, для которого суммарная оценка аппаратурных затрат для функций возбуждения минимальная с учетом кодирования состояний автомата.*

***Ключевые слова:*** *управляющий автомат, таблица переходов-выходов, язык описания аппаратуры, автоматизированный синтез.*

**Miroschnyk M.A., Pakhomov Y.V., Shkil A.S., Kulak E.N., Kucherenko D.Y., Filippenko I.V. Analysis of hardware costs during the design for testability of control finite state machines.**

*The aim of the work is to analyze hardware costs of ensuring the testability of finite state machines with various options for organizing an additional transition between FSM's states depending on the presence of an unconditional transition, a conditional transition, and the absence of transitions between states of analyzed FSM. The conclusion on additional hardware costs is made on the basis of a comparison of synthesis results of testable HDL-models by means of CAD FPGA. The paper solved the problem of computer-aided design of testable control FSM based on the application of methods for setting FSM in a given state. The best way to organize additional transitions during setting of control FSM in an arbitrary state is the transition for which the total hardware cost estimate for the excitation functions is minimal, taking into account the coding of FSM's states.*

***Key words:*** *control FSM, state table, hardware description language, automated synthesis.*

**Мірошник Марина Анатолієвна,** д-р техн. наук, зав. кафедрой інформаційних технологій Українського державного університета залізничного транспорта. E-mail: marinagmiro@gmail.com.
**Пахомов Юрій Васильович,** асистент кафедри експлуатації газових і теплових систем Харківського національного університету міського господарства. E-mail: abc050073@gmail.com.
**Шкіль Олександр Сергійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: діагностика цифрових систем, дистанційна освіта. E-mail: oleksandr.shkil@nure.ua.
**Кулак Ельвіра Миколаївна**, канд. техн. наук, доцент кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: автоматизоване проектування цифрових автоматів, мови опису апаратури. E-mail: elvira.kulak@nure.ua.
**Філіппенко Інна Вікторівна**, канд. техн. наук, доцент кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: проектування цифрових пристроїв на базі мікроконтролерів, цифрові фільтри. E-mail: inna.filippenko@nure.ua.
**Кучеренко Дарія Юхимівна**, канд. техн. наук, доцент кафедри АПОТ ХНУРЕ. Наукові інтереси: мови опису апаратури, експертні системи, технічна діагностика, нечітка логіка. E-mail: dariia.kucherenko@nure.ua.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Рязанцев О.І.***

Стаття подана 29.11.2018

УДК 681.3.07

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПЕРСКАЛЯРНОСТІ ТА КЕШ-ПАМ'ЯТІ ПРОДЕШИФРОВАНИХ КОМАНД СУЧАСНИХ ПРОЦЕСОРІВ

**Недзельський Д.О., Костиря Р.Г.**

# AN INVESTIGATION OF PERFORMANCE EFFICIENCY OF THE DECODE STEP IN MODERN SUPERSCALAR CPUS

**Nedzelskyi D.A, Kostyria R.G.**

*В статті досліджена ефективність підсистеми генерації команд сучасних конвеєрних ядер процесорів при використанні таких структурних методів збільшення продуктивності як суперскалярність і кеш-пам'ять продешифрованих команд. Розроблена модель підсистеми генерації команд при виконанні програм, які складаються з обчислювальних команд та команд переходів різного типу. Для 4-х варіантів структури підсистеми генерації команд (з / без суперскалярного і з / без кеш-пам'яті продешифрованих команд): отримано аналітичні вирази для теоретичних продуктивностей підсистем генерації команд; виконано порівняння 4-х варіантів структури в залежності від різних параметрів як структури підсистем генерації команд, так і властивостей програм. Варіант структури підсистеми генерації команд доцільно вибирати виходячи з продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд і вартості реалізації цих варіантів. Рис. 1, табл. 4, джерел 5.*

**Ключові слова:** *процесор, ядро, конвейер генерації команд, перехід, ефективність, суперскалярність, кеш-пам'ять продешифрованых команд.*

**Вступ.** Нині в ядрах сучасних процесорів використовуються різноманітні методи збільшення продуктивності, такі як: максимально можливі частоти; конвейерність; значна кількість спеціалізованих функціональних пристроїв та буферів різного розміру; передбачення переходів; виконання команд поза чергою; суперскалярність; кеш-пам'ять продешифрованих команд; віртуальна багатопоточність та ряд інших.

Сукупність перших етапів конвеєра ядра процесора, які виконують функції по читанню команд з підсистеми пам'яті, буферуванні їх, «розмітці» (якщо це необхідно), попередньому й остаточному дешифруванню утворює підсистему генерації команд. Подальші етапи конвеєра команд ядра виконують продешифровані команди.

Вплив деяких методів збільшення продуктивності ядер розглянутий в роботах [1], [2], [3].

Зокрема, в роботі [1] приведена методика та оцінки коефіцієнтів використання підсистеми генерації команди та підсистеми виконання команд в найсприятливіших умовах роботи конвеєрного ядра за відсутності «перешкод» для будь-яких значень: розміру буфера готових для виконання команд; коефіцієнтів навантаження функціональних пристроїв; типів програм. Навіть за відсутності «перешкод» коефіцієнти використання спеціалізованих функціональних пристроїв далекі від своїх граничних значень.

В роботі [2] досліджені ефективності деяких структурних рішень по зменшенню негативного впливу команд умовних переходів.

В роботі [3] розроблена модель підсистеми генерації команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу. Також розроблена методика визначення ефективності реальної підсистеми генерації команд залежно від частоти команд переходів, вірогідносту переходу і від деяких структурних параметрів ядра процесора.

Роботи по дослідженню впливу суперскалярності, кеш-пам'яті продешифрованих команд на продуктивність підсистем генерації команд залежно від різних параметрів як структури підсистеми генерації команд, так і характеристик виконуваних програм авторові невідомі.

Під суперскалярністю розуміється здатність підсистеми генерації команд кожного такту генерувати (дешифрувати) декілька команд одночасно.

**Мета статті.** Розробка моделі, методики та аналітичних виразів оцінки ефективності різних варіантів структури підсистеми генерації команд з/без суперскалярності та кеш-пам'яті продешифрованих команд залежно від параметрів як структури ядра, так і характеристик виконуваних програм.

**Основна частина. Модель ядра процесора.** Для цілей дослідження реальна структура ядра процесора представлена у вигляді моделі, що складається з 2 фаз, - підсистеми генерації команд і підсистеми виконання підготовлених команд з буфером між ними (рис. 1). Буфер може бути як звичайним буфером, так і кеш-пам'яттю продешифрованих команд.

Рис.1. Структура моделі ядра процесора

Таблиця 1

**Параметри програм і досліджуваних структур підсистеми генерації команд**

| Параметр | Опис |
|---|---|
| $\omega_П$ | вірогідність того, що чергова команда програми це команда переходу будь-якого типу (чи то це команда безумовного переходу, чи то це команда умовного переходу) |
| $1-\omega_П$ | вірогідність того, що чергова команда програми це команда, яка виконується в підсистемі виконання команд (обчислювальна команда) |
| $q$ | вірогідність того, що перехід, визначений командою переходу, буде виконаний і буде здійснено перезавантаження конвеєра генерації команд |
| $1-q$ | вірогідність того, що перехід, визначений командою переходу, не буде виконаний і перезавантаження конвеєра генерації команд не буде |
| $S$ | кількість команд, що генеруються підсистемою генерації команд в одному такті. Якщо $S=1$, то в кожному такті генерується одна команда |
| $A$ | час перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу за відсутності в структурі ядра кеш-пам'яті продешифрованих команд (КДК) |
| $D$ | час (в тактах) перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу за наявності в структурі ядра КДК |
| $B$ | час (в тактах) генерації команд для структур ядра без КДК |
| $B/S$ | $B/S$ - час (в тактах) генерації однієї команди з пакету для структур ядра з суперскалярністю $S>1$ і без КДК |
| $C$ | час (в тактах) генерації команди при її наявності в КДК |
| $C/S$ | час (в тактах) генерації однієї команди з пакету за наявності команди в КДК (для структур ядра з суперскалярністю $S>1$) |

В роботі досліджуються теоретичні (пікові) продуктивності 4-х структур підсистеми генерації команд при виконанні наступних умов:

- в структурах ядер усіх варіантів є блок передбачення переходів;
- реалізований конвеєрний принцип;
- ширина і розміри всіх проміжних буферів між етапами підсистеми генерації команд достатньої величини;
- буфер між підсистемами моделі ядра необмеженого розміру. Це дозволяє виключити з дослідження продуктивності підсистеми генерації команд структуру і продуктивність підсистеми виконання команд і її вплив на продуктивність підсистеми генерації команд.
- досліджувані програми виконуються в найбільш сприятливих з точки зору продуктивності умовах (зокрема, вся необхідна інформація знаходиться в кеш-пам'ятях ядра);
- на вхід підсистеми генерації команд поступає нескінченна послідовність команд програми.

Параметри програм і досліджуваних структур підсистеми генерації команд ядра процесора приведені в таблиці 1.

**Досліджувані варіанти структур підсистеми генерації команд**

*Варіант 1*. Підсистема генерації команд без суперскалярності та без кеш-пам'яті продешифрованих команд ( $S=1$, немає КДК).

Це простий варіант структури підсистеми генерції команд. У підсистемі генерації команд є тільки один дешифратор команд. Чергова команда читається з підсистеми пам'яті (як правило з кешу команд L1K. Продешифрована команда заноситься в буфер підсистеми виконання команд.

*Варіант 2.* Підсистема генерації команд без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ( $S=1$, є КДК).

В ядрі процесора є кеш-пам'ять продешифрованих команд і тільки один дешифратор команд. Чергова порція командної інформації читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1K). Продешифрована команда, заноситься в КДК .

*Варіант 3.* Підсистема генерації команд з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд ( $S>1$, немає КДК).

В ядрі процесора немає кеша продешифрованих команд і є $S$ дешифраторів команд. Чергова порція командної інформації (пакет) читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1K).

Дешифрується необхідною кількістю дешифраторів і пакет готових команд заноситься в буфер готових до виконання команд**.**

*Варіант 4.* Підсистема генерації команд з суперскалярністю і з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ( $S > 1$ , є КДК).

Це найбільш складний варіант структури ядра. В ядрі процесора є кеш-пам'ять продешифрованих команд і $S$ дешифраторів команд. Чергова порція командної інформації (пакет) читається з підсистеми пам'яті (як правило з кеша команд L1K) і потім дешифрується $S$ дешифраторами ( $S > 1$ ). Пакет продешифрованих команд заноситься в КДК.

### Визначення продуктивностей підсистеми генерації команд

Під продуктивністю підсистеми генерації команд розуміється величина зворотна середньому часу генерації однієї команди.

**Варіант 1.** Підсистема генерації команд без суперскалярності і без кеш-пам'яті продешифрованих команд ( $S = 1$ , немає КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1-\omega_П) * B + \omega_П * [q * (A + B) + (1-q) * B]$$

Після спрощення

$$t_{КОМ} = B + \omega_П * q * A .$$

Продуктивність першого варіанту структури підсистеми генерації команд

$$ПР_{ВАР1} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{B + \omega_П * q * A} .$$

**Варіант 2.** Підсистема генерації команд без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ( $S = 1$ , є КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1-\omega_П) * [(1-P_{КДК}) * B + P_{КДК} * C] + \omega_П *$$
$$* \{[q * [(1-P_{КДК}) * * (A + B) + + P_{КДК} * D] + (1-q) * .$$
$$* [(1-P_{КДК}) * B + P_{КДК} * C]\}$$

Після перетворення

$$t_{КОМ} = P_{КДК} * C + (1-P_{КДК}) * (B + \omega_П * q * A)$$

Продуктивність другого варіанту структури підсистеми генерації команд

$$ПР_{ВАР2} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{P_{КДК} * C + (1-P_{КДК}) * (B + \omega_П * q * A)}$$

**Варіант 3.** Підсистема генерації команд з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд ( $S > 1$ , немає КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1-\omega_П) * B / S + \omega_П * [q * (A + B / S) + (1-q) *$$
$$* B / S]$$

Після перетворень

$$t_{КОМ} = (1-\omega_П) * B / S + \omega_П * (q * A + B / S)$$
$$t_{КОМ} = B / S + \omega_П * q * A$$

Продуктивність третього варіанту структури підсистеми генерації команд

$$ПР_{ВАР3} = \frac{1}{t_{КОМ}} = \frac{1}{B / S + \omega_П * q * A} .$$

**Варіант 4.** Підсистема генерації команд з суперскалярністю та з кеш-пам'яттю продешифрованих команд ( $S > 1$ , є КДК).

Середній час генерації команди

$$t_{КОМ} = (1-\omega_П) * [(1-P_{КДК}) B / S + P_{КДК} * C / S] + \omega_П *$$
$$* \{[q * [(1-P_{КДК}) * (A + B / S) + + P_{КДК} * (D + C / S)] +$$
$$+ (1-q) * [(1-P_{КДК}) * B / S + P_{КДК} * C / S]\}$$

Після перетворень

$$t_{КОМ} = P_{КДК} * C / S + (1-P_{КДК}) *$$
$$* B / S + \omega_П * q * [(1-P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]$$

Продуктивність цього варіанту структури підсистеми генерації команд

$$ПР_{ВАР4} = \frac{1}{t_{КОМ4}} =$$
$$= \frac{1}{P_{КДК} * C / S + (1-P_{КДК}) * B / S + \omega_П * q * [(1-P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

Чи

$$ПР_{ВАР4} =$$
$$= \frac{S}{P_{КДК} * C + (1-P_{КДК}) * B + S * \omega_П * q * [(1-P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

### Діапазони зміни параметрів у виразах для продуктивності

Частота команд переходу $\omega_П$ визначається виключно типом виконуваної програми. Однією з поширених команд переходів є команда перевірки завершення циклу і перехід на початок циклу в переважній більшості випадків.

Довжина циклу (кількість команд в циклі) може змінюватися в широких межах - від одиниць до декількох десятків і більше.

Для дослідження вибраний діапазон від 0.05 до 0.20, що еквівалентно кількості команд в циклі від 20 до 5.

Вірогідність наявності продешифрованих команд в кеш-пам'яті продешифрованих команд за визначенням вірогідності

$$P_{КДК} = \frac{N_{вдалих_звернень}}{N_{звернень}},$$

де: $N_{вдалих_звернень}$ - кількість звернень, коли продешифровані команди є в кеш-пам'яті продешифрованих команд;

$N_{звернень}$ - загальна кількість звернень в кеш-пам'ять продешифрованих команд.

Якщо в циклі є $k$ команд, а сам цикл виконується $n$ разів, то

$$P_{КДК} = \frac{(n-1)*k}{n*k} = \frac{n-1}{n}.$$

При досить великих значеннях n $q \to 1$, і чим більше $n$, тим менша похибка. Для дослідження вибраний діапазон $P_{КДК}$ від 0.99 до 0.90, що еквівалентно кількості циклів від 10 до 100.

Вірогідність $q$ виконання переходу командою переходу за визначенням вірогідності

$$q = \frac{N_{виконаних_переходів}}{N_{переходів}},$$

де: $N_{виконаних_переходів}$ - кількість виконаних переходів в початок циклу;

$N_{переходів}$ - загальна кількість команд переходів в циклі.

Якщо цикл виконується $n$ разів, то

$$q = \frac{(n-1)}{n}.$$

При досить великих значеннях $n$ $P_{КДК} \to 1$, і чим більше $n$, тим менша похибка.

Оскільки

$$P_{КДК} = \frac{n-1}{n} \text{ і } q = \frac{(n-1)}{n},$$

то для дослідження вибрані діапазони зміни $P_{КДК}$ та $q$ від 0.99 до 0.90, що еквівалентно кількості циклів від 10 до 100.

Діапазон параметра $A$ (це час перезавантаження конвеєра генерації команд в результаті виконання команди переходу) - від 6 до 4 тактів залежно від структурних особливостей конвеєра генерації команд.

Діапазон параметра $B$ (це *час генерації команд* дешифратором за відсутності кеш-пам'яті продешифрованих команд або відсутності продешифрованої команди в кеш-пам'яті продешифрованих команд) вибраний 1 або 2 такти залежно від структурних особливостей конвеєра генерації команд.

Діапазон параметра $C$ - 1 такт.

Діапазон зміни коефіцієнта суперскалярності $S = 1, 2, 3, 4$.

Діапазон параметра $D$ - 1, 2 такти.

**Порівняння варіантів**

Для порівняння різних варіантів структур підсистеми генерації команд використано відношення їх продуктивностей

$$R_{ij} = \frac{ПР_i}{ПР_j}.$$

**Порівняння варіантів 2 і 1**

Відношення продуктивностей варіантів структури з кеш-пам'яттю продешифрованих команд і без неї за відсутності суперскалярності дає формулу

$$R_{21} = \frac{ПР_2}{ПР_1} = \frac{B + \omega_П * q * A}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_П * q * A)}$$

Після перетворень

$$R_{21} = \frac{B/C + \omega_П * q * A/C}{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B/C + \omega_П * q * A/C)}$$

Точні і наближені значення $R_{21}$ залежно від значень параметрів $B/C$; $A/C$; $P_{КДК}$; $\omega_П$; $q$ приведені в таблиці 2.

**Висновки**

1. $R_{21} > 1$ при будь-яких значеннях параметрів. Це означає, що варіант структури без суперскалярності але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд, більш продуктивний, що підтверджує інтуїтивні припущення про те, що ускладнення структури повинне забезпечувати збільшення продуктивності.

2. Для порівняння варіантів 2 і 1 для варіантів програм з $P_{КДК}$ близьким до 1 в першому наближенні можна використати вираз

$$R_{21} \approx B/C + \omega_П * q * A/C.$$

Таблиця 2

**Залежності $R_{21}$ від параметрів $B/C$; $A/C$; $P_{КДК}$; $\omega_П$; $q$**

| $\omega_П$ | $q$ | $P_{КДК}$ | $A/C$ | $B/C$ | Точне $R_{21}$ | Приблизне $R_{21}$ | Похибка (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.05 | 0.99 | 0.99 | 6 | 1 | 1.303 | 1.297 | 0.47 |
| | 0.95 | 0.95 | 6 | 1 | 1.328 | 1.285 | 3.24 |
| | 0.90 | 0.90 | 6 | 1 | 1.340 | 1.270 | 5.22 |
| | 0.99 | 0.99 | 4 | 1 | 1.196 | 1.198 | 0.17 |
| | 0.95 | 0.95 | 4 | 1 | 1.186 | 1.190 | 3.37 |
| | 0.90 | 0.90 | 4 | 1 | 1.175 | 1.180 | 4.26 |
| 0.10 | 0.99 | 0.99 | 6 | 1 | 1.585 | 1.594 | 0.57 |
| | 0.95 | 0.95 | 6 | 1 | 1.526 | 1.570 | 2.88 |
| | 0.90 | 0.90 | 6 | 1 | 1.461 | 1.540 | 5.41 |
| | 0.99 | 0.99 | 4 | 2 | 2.364 | 2.396 | 1.35 |
| | 0.95 | 0.95 | 4 | 2 | 2.226 | 2.380 | 6.92 |
| | 0.90 | 0.90 | 4 | 2 | 2.078 | 2.360 | 13.58 |
| 0.20 | 0.99 | 0.99 | 6 | 1 | 2.162 | 2.188 | 1.20 |
| | 0.95 | 0.95 | 6 | 1 | 2.125 | 2.140 | 7.06 |
| | 0.90 | 0.90 | 6 | 1 | 1.877 | 2.080 | 10.81 |
| | 0.99 | 0.99 | 4 | 2 | 2.743 | 2.792 | 1.79 |
| | 0.95 | 0.95 | 4 | 2 | 2.537 | 2.760 | 9.18 |
| | 0.90 | 0.90 | 4 | 2 | 2.321 | 2.720 | 17.2 |

3. Значення показника ефективності варіанту 2 в порівнянні з варіантом 1 залежить головним чином від співвідношення параметрів $B$ та $C$. Параметри $A$, $\omega_П$, $q$ впливають значно менше.

**Порівняння варіантів 3 і 1**

Якщо порівняти продуктивності варіантів структури з і без суперскалярності, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд, то отримаємо формулу

$$R_{31} = \frac{ПР_3}{ПР_1} = \frac{B + \omega_П * q * A}{B/S + \omega_П * q * A} = \frac{1 + \omega_П * q * A/B}{1/S + \omega_П * q * A/B}$$

Граничне значення показника ефективності $R_{31}$ при прагненні показника суперскалярності S до $\infty$

$$\lim_{S\to\infty} R_{31} = \frac{B + \omega_П * q * A}{B/S + \omega_П * q * A} = 1 + \frac{1}{\omega_П * q * A/B}$$

Значення $R_{31}$, залежно від параметрів $A/B$; $\omega_П$; $q$; $S$ приведені в таблиці 3.

Таблиця 3

**Залежності коефіцієнта $R_{31}$ від параметрів $A/B$; $\omega_П$; $q$; $S$**

| $\omega_П$ | $q$ | $S$ | $A/B$ | $R_{31}$ |
|---|---|---|---|---|
| 0.05 | 0.99 | 2 | 6 | 1.627 |
| | | 3 | 6 | 2.058 |
| | | 4 | 6 | 2.371 |
| | | 2 | 4 | 1.716 |
| | | 3 | 4 | 2.255 |
| | | 4 | 4 | 2.674 |

**Висновки**

1. Оскільки $S > 1$, то чисельник $R_{31}$ завжди більший 1. Це означає, що реалізація суперскалярності навіть в мінімальному вигляді збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд.

2. Збільшення коефіцієнта суперскалярності трохи збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд без кеш-пам'яті продешифрованих команд.

3. Граничне значення показника ефективності $R_{31}$ при прагненні показника суперскалярності $S$ до $\infty$ визначається в основному значеннями параметрів $A/B$; $\omega_П$; $q$.

$$\lim_{S\to\infty} R_{31} = 1 + \frac{1}{\omega_П * q * A/B}.$$

**Порівняння варіантів 3 і 2**

Відношення продуктивностей варіантів структури з суперскалярністю і без кеш-пам'яті продешифрованих команд і без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд дає таке

$$R_{32} = \frac{ПР_3}{ПР_2} = \frac{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * (B + \omega_П * q * A)}{B/S + \omega_П * q * A}$$

Після перетворення

$$R_{32} = \frac{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B/C + \omega_П * q * A/C)}{B/(C * S) + \omega_П * q * A/C}$$

Для порівняння варіантів 3 і 2 при виконанні програм з $P_{КДК}$ близьким до 1 можна використати наближений вираз

$$R_{32} \approx \frac{S}{B/C + S * \omega_{П} * q * A/C}.$$

**Висновки**

1. Варіант структури з суперскалярністю і без кеш-пам'яті продешифрованих команд продуктивніший за варіант структури без суперскалярності, але з кеш-пам'яттю продешифрованих команд.

2. $R_{32}$ монотонно зростальна функція від мінімального значення, менше ніж 1 при $S = 1$, до максимального значення при $S = \infty$

$$\lim_{S \to \infty} R_{32} = \frac{P_{КДК} + (1 - P_{КДК}) * (B/C + \omega_{П} * q * A/C)}{\omega_{П} * q * A/C}$$

Максимальне значення $R_{32}$ не залежить від значення коефіцієнта суперскалярності $S$.

3. При вірогідності $P_{КДК}$ близької до 1 для порівняння варіантів 3 і 2 можна використати наближений вираз

$$R_{32} \approx \frac{S}{B/C + S * \omega_{П} * q * A/C}$$

і його граничне значення

$$\lim_{S \to \infty} R_{32} = \frac{1}{\omega_{П} * q * A/C}.$$

Наприклад, при $B/C = 1$, $A/C = 6$, $\omega_{П} = 0.05$ и $q = 1$

$R_{32} = \frac{1}{1/S + 0.3}$ і якщо:

$S = 1$ - $R_{32} = 0.769$; $S = 2$ - $R_{32} = 1.250$;

$S = 3$ - $R_{32} = 1.579$; $S = 4$ - $R_{32} = 1.818$;

$S = \infty$ - $R_{32} = 3.333$.

4. При реалізації варіанту структури з суперскалярністю, але без кеш-пам'яті продешифрованих команд слід обережно вибирати коефіцієнт суперскалярності $S$. $S$ більше оптимального значення не забезпечує істотного приросту продуктивності.

**Порівняння варіантів 4 і 1**

Відношення продуктивностей варіантів структури з суперскалярністю і кеш-пам'яттю продешифрованих команд, і без суперскалярності і без кеш-пам'яті продешифрованих команд, дає таке

$$R_{41} = \frac{ПР_4}{ПР_1} = \frac{S * (B + \omega_{П} * q * A)}{P_{КДК} * C + (1 - P_{КДК}) * B + S * \omega_{П} * q * [(1 - P_{КДК}) * A + P_{КДК} * D]}$$

Після перетворень

$$R_{41} = \frac{S * (B/C + \omega_{П} * q * A/C)}{P_{КДК} * (1 + S * \omega_{П} * q * D/C) + (1 - P_{КДК}) * (B/C + S * \omega_{П} * q * A/C)}$$

При вірогідності $P_{КДК}$ близької до 1 для порівняння варіантів 4 і 1 можна використати наближений вираз

$$R_{41} \le \frac{B/C + \omega_{П} * q * A/C}{1/S + \omega_{П} * q * D/C}.$$

Граничне значення відношення $R_{41}$ буде таке

$$\lim_{Sx \to \infty} R_{41} = \frac{B/C + \omega_{П} * q * A/C}{\omega_{П} * q * D/C}.$$

У виразі для $R_{41}$ добре видно вклади в підвищення продуктивності коефіцієнта суперскалярності (чим більший коефіцієнт $S$, тим більший коефіцієнт $R_{41}$) і кеш-пам'яті продешифрованих команд (чим більше відношення $B/C$ і $A/C$, тим більше вплив кеш-пам'яті продешифрованих команд).

Деякі значення $R_{41}$ залежно від значень параметрів приведені в таблиці 4.

**Висновки**

1. Реалізація суперскалярності в поєднанні з кеш-пам'яттю продешифрованих команд істотно збільшує теоретичну продуктивність підсистеми генерації команд в порівнянні з найпростішим варіантом структури без суперскалярності та без кеш-пам'яті продешифрованих команд. $R_{41} > 1$ при будь-яких значеннях параметрів.

2. Ефективність структури підсистеми підготовки команд з суперскалярністю у поєднанні з кеш-пам'яттю продешифрованих команд, монотонно зростає від мінімального значення при $S = 1$ до граничного значення

$$\lim_{S \to \infty} R_{41} = \frac{B/C + \omega_{П} * q * A/C}{\omega_{П} * q * D/C}.$$

Наприклад, при $B/C = 1$, $A/C = 6$, $\omega_{П} = 0.05$ і $q = 1$ $\lim_{S \to \infty} R_{41} = 26$.

Таблиця 4

**Значення $R_{41}$ залежно від значень параметрів $B/C$; $A/C$; $D/C$; $S$; $\omega_П$; $q$**

| $\omega_П$ | $q$ | $S$ | $B/C$ | $A/C$ | $D/C$ | Точне $R_{41}$ | Приблизне $R_{41}$ | Похибка $R_{41}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.05 | 0.99 | 1 | 1 | 6 | 1 | 1.233 | 1.236 | 0.24 |
| | | 2 | 1 | 6 | 1 | 2.350 | 2.360 | 0.43 |
| | | 3 | 1 | 6 | 1 | 3.366 | 3.386 | 0.59 |
| | | 4 | 1 | 6 | 1 | 4.294 | 4.331 | 0.86 |
| | | 1 | 1 | 4 | 1 | 1.140 | 1.142 | 0.17 |
| | | 2 | 1 | 4 | 1 | 2.174 | 2.180 | 0.28 |
| | | 3 | 1 | 4 | 1 | 3.117 | 3.129 | 0.39 |
| | | 4 | 1 | 4 | 1 | 3.980 | 4.000 | 0.50 |

4. Граничне значення показника ефективності $R_{41}$ при прагненні показника суперскалярності S до $\infty$ визначається в основному значеннями параметрів $\omega_П$, $q$, $A/D$, $B/D$.

5. При вірогідності $P_{КДК}$ і $q$ близьких до 1 (особливо при виконанні циклічних ділянок програм з великою кількістю циклів), для порівняння варіантів 4 й 1 можна використати наближений вираз

$$R_{41} \le \frac{B/C + \omega_П * q * A/C}{1/S + \omega_П * q * D/C}.$$

**Висновок**

1. Розроблена модель і методика визначення ефективностей варіантів структури підсистеми генерації команд при виконанні програм, що складаються з обчислювальних команд і команд переходів різного типу, дозволяють отримати аналітичні вирази співвідношення теоретичних продуктивностей чотирьох варіантів структур в залежності: від частоти команд переходу; вірогідності виконання переходу; вірогідності наявності продешифрованої команди в кеш-пам'яті продешифрованих команд (якщо вона є в структурі ядра); значення коефіцієнта суперскалярності (якщо суперскалярність реалізована в ядрі); часу параметрів перезавантаження конвеєра генерації команд; часу дешифрування команди; часу прочитування продешифрованих команд з кеш-пам'яті продешифрованих команд.

2. Виходячи зі значень продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд в ядрах процесорів і вартості їх реалізації можливий вибір структури підсистеми генерації команд близькою до оптимальної.

3. Дослідження реальних продуктивностей різних варіантів структур підсистем генерації команд в ядрах процесорів є завданням подальших досліджень.

**Література**


1. Недзельский Д.А. Исследование эффективности одноядерных суперскалярных вычислительных систем. Луганск. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. - 2011. - №15 (169) Ч. 2. - с. 133-140.
2. 2.Недзельский Д.А. Исследование и анализ эффективности структурных методов компенсации влияния команд преходов на производительность конвейерных ядер процессоров. Луганськ: Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2013. - №16 (205), Частина 2. - С.174-181.
3. Недзельский Д.А. Исследование эффективности подсистемы генерации команд в ядрах современных процессоров. Луганськ: Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, 2017. - №8 (238), - С.64-66.
4. Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979. - 600с.


**References**


1. Nedzelskij D.A. Reaseach of efectivness one core syperskalar computers. Announcer of the South Ukreine University of V. Dal. - 2011. - №15 (169) Ch. 2. - pp. 133-140.
2. Nedzelsky D.A. Research and analysis of the effectiveness of structural methods for compensating the influence of the teams of transitions on the performance of pipeline processors. Announcer of the South Ukreine University of V. Dahl. 2013. - No. 16 (205), Part 2. - P.174-181.
3. Nedzelsky D.A. Research of the efficiency of the command generating subsystem in modern processor cores. Announcer of the South Ukreine University of V. Dahl. 2017. - No. 8 (238). - P.64-66.
4. Orlov S.A.,Cilker B.YA. Ordanization EVM and systems. 2nd Edition. SPb.:Piter, 2011. – 688 p.
5. Klienrock L. Computer systems with queens. - M.: Mir, 1979. – 600p.

**Недзельский Д.А., Костыря Р.Г. Исследование эффективности суперскалярности и кэш-памяти декодированных команд современных процессоров**

*В статье исследуется эффективность подсистемы генерации команд для современных конвейерных процессорных ядер с использованием таких структурных методов повышения производительности, как суперскалярная и кэш-память декодированных команд. Разработана модель подсистемы генерации команд для выполнения программ, состоящих из вычислительных команд и команд перехода различных типов. Для 4 вариантов структуры подсистемы генерации команд (с / без суперскалярной и с / без кэш-памяти декодированных команд): получены аналитические выражения для теоретической производительности подсистем генерации команд; сравнение четырех вариантов структуры выполняется в зависимости от различных параметров, таких как структура подсистемы генерации команд и свойства программ. Целесообразно выбрать вариант структуры подсистемы генерации команд на основе производительности различных вариантов структур подсистем генерации команд и стоимости реализации этих вариантов. Рис. 1, табл. 4, библограф. 5.*

***Ключевые слова:*** *процессор, ядро, конвейер генерации команд, переход, эффективность, суперскаляр, кэш-память декодированных команд.*

**Nedzelskyi D.A., Kostyria R.G. An investigation of performance efficiency of the decode step in modern superscalar cpus**

*In the article, the efficiency of the subsystem for generation of commands for modern pipelined processor cores is studied using such structural methods of increasing the performance as superscalar and cache memory of the decoded commands. A model of the command generation subsystem is developed for the execution of programs consisting of computational commands and transition commands of various types. For 4 variants of the structure of the command generation sub-system (with / without superscalar and with / without cache memory of the decoded commands): analytical expressions for the theoretical performance of the command generation sub-systems are obtained; a comparison of 4 variants of the structure is performed depending on various parameters as the structure of the command generation subsystem and the properties of the programs. It is expedient to choose the variant of the structure of the command generation sub-system based on the performance of various variants of the structures of the command generation subsystems and the cost of implementing these variants. Fig. 1, table 4, references 5.*

***Keywords:*** *processor, kernel, conveyer of generation of commands, transition, efficiency, superscalar, cache memory of the prodecoded commands.*

**Недзельський Дмитро Олександрович –** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.
E - mail: nedzelsky946@gmail.com
**Костиря Роман Геннадійович –** магістрант факультету інформаційних технологій та електроніки Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. E - mail: romannkost@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 12.08.2018

УДК 004.031.4

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДУ ВЕБ-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СМАРТ СИСТЕМ

**Пархоменко А.В., Туленков А.В., Соколянський О.В., Гладкова О.М., Залюбовський Я.І.**

# RESEARCH&DEVELOPMENT OF WEB-BASED PROTOTYPING METHOD FOR SMART SYSTEMS DESIGN

**Parkhomenko A.V., Tulenkov A.V., Sokolyanskii O.V., Gladkova O.M., Zalyubovskiy Ya.I.**

*У статті розглянуто питання застосування технологій прототипування при створенні смарт систем. Виконано огляд наявних методів прототипування та показано можливості використання віддалених лабораторій для веб-орієнтованого прототипування смарт систем. Представлено інфраструктуру віддаленої лабораторії, що може використовуватись в якості засобу побудови прототипу смарт системи, з метою дослідження принципів її функціонування та контролю. Представлено метод веб-орієнтованого прототипування системи Розумний будинок на основі технологій віддаленої інженерії.*

***Ключові слова:*** *прототипування, Розумний будинок, віддалена лабораторія, інфраструктура, програмно-апаратна платформа, протокол, сервер управління, веб-сервіс.*

**Вступ.** Сьогодні технології Інтернету речей (IoT) стрімко змінюють світ, оскільки суттєво розширюють можливості збору, аналізу, збереження та розповсюдження інформації. Зростає вплив IoT на всі сфери управління, проектування та виробництва, що сприяє підвищенню ефективності бізнес-процесів [1].

Дуже часто концепція IoT пов’язана зі смарт технологіями, пристроями та системами: Розумне місто, Розумний транспорт, Розумний будинок, Розумний бізнес та ін. [2]. Зокрема, концепція таких систем, як Розумне місто та Розумний будинок, є популярною у всьому світі. Основними регіонами, які активно впроваджують такі системи, є Північна Америка, Азіатсько-Тихоокеанський регіон та Західна Європа [3].

В Україні ринок інтелектуальної домашньої автоматизації також активно розвивається, про що свідчить поява значної кількості компаній, що займаються розробкою систем типу Розумний будинок. Реалізація концепції такої смарт системи пов'язана з проблемою одночасного виконання декількох критичних вимог: використання широкої номенклатури контрольно-виконавчих пристроїв, забезпечення високого рівня захисту даних та мінімізації витрат, пов'язаних з використанням ресурсів [4-6]. Залежно від вимог замовника, архітектура смарт системи, а також набір апаратних та програмних рішень може суттєво відрізнятися. З одного боку, на ринку існує величезна кількість пристроїв, платформ та технологій для створення смарт систем. З іншого боку, проблеми з уніфікацією та сертифікацією пристроїв, а також їх інтеграція в єдину, легко налаштовувану систему, залишаються відкритими. Наслідком для галузі в цілому є уповільнення ринкових темпів. Вимоги щодо зменшення часу розробки смарт систем та збільшення їх складності вимагають нових способів реалізації інноваційних ідей, удосконалення наявних та впровадження нових методів проектування смарт систем.

У відповідь на ці виклики, промисловість та академічні спільноти пропонують спектр технологій, які допомагають розробляти нові продукти та розширювати кількість альтернативних варіантів [7-8]. Прикладами цих технологій є функціональний дизайн, дизайн для аналізу технологічності, моделювання, обчислювальні, віртуальні та фізичні прототипи.

Прототипування - це назва декількох суміжних технологій, які сьогодні активно використовуються при проектуванні об’єктів та процесів [9-10]. Дослідження віртуального прототипу дозволяє: скоротити час розробки; дослідити більше альтернативних варіантів конструкції; не створювати фізичні прототипи, які багато коштують; виконати дослідження прототипу, які є неможливими в реальних умовах на макеті; не проводити фізичні експерименти, що потребують

значного часу. Але, водночас, більшість дизайнерів погоджуються, що "отримання фізичної швидкості" має часто вирішальне значення для вивчення концепцій дизайну. Чим швидше дизайнери експериментують з новими продуктами, тим швидше вони отримують потрібні дані для подальших змін у проекті. Крім того, створення прототипу – це зручний спосіб отримання зворотнього зв'язку з замовником.

Тому, завдання удосконалення наявних та розробки нових методів прототипування для підвищення ефективності проектування смарт систем є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [11] наведено класифікацію методів прототипування інформаційних систем, яка охоплює наступні типи: швидке, еволюційне, інкрементальне та екстремальне. При швидкому прототипуванні створюється прототип, який не входить до складу готової системи, але використовується для досліджень на етапі узгодження кінцевих вимог до проектованої системи та її функціональних та конструктивних характеристик. Саме даний вид прототипування доцільно використовувати при проектуванні смарт систем.

З метою зменшення витрат на створення таких прототипів та, відповідно їх вартості, можуть використовуватись веб-орієнтовані технології швидкого прототипування на основі засобів віддаленої інженерії [12]. До таких засобів перш за все відносяться віддалені лабораторії, які використовуються у всьому світі. Найбільш популярними є наступні: iLab, WebLab Deusto, VISIR, GOLDi, RELLE, WEBENCH, Labshare, RELDES та інші [13].

Як показали проведені дослідження, засоби гібридної віддаленої лабораторії GOLDI (Grid of Online Lab Devices Ilmenau), яку розроблено на кафедрі інтегрованих систем зв'язку Технологічного університету Ільменау (Німеччина) [14], забезпечують можливості веб-орієнтованої розробки та перевірки прототипів цифрових систем. Це дозволяє отримувати корисну для прийняття проектних рішень інформацію за умови спільного використання програмних та апаратних засобів, що є актуальним в умовах фінансово-економічних обмежень. Але, серед чисельних експериментів лабораторії немає експериментів щодо створення та дослідження прототипу саме систем типу Розумний будинок.

Засоби віддаленої лабораторії RELDES (Remote Laboratory for Design of Embedded Systems) дозволяють швидко створювати прототипи вбудованих систем на основі повторно використовуваних апаратних та програмних рішень, що також сприяє зниженню витрат на прототипування [15-17]. Оскільки саме вбудовані системи є основою реалізації IoT технологій, лабораторія може бути використана як основа для створення інструментарію прототипування смарт систем.

Є також декілька рішень саме для прототипування систем типу Розумний будинок. Зокрема, це стенд, створений корпорацією Intel Corp. [18], а також віддалена лабораторія, створена у Корнельському університеті (Ітака, США) [19]. Але, як показали проведені дослідження, лабораторія Intel базується лише на апаратурі компанії, з метою її просування, а лабораторія Cornell працює під управлінням голосу, що не є зручним для людей з голосовими розладами.

Інший лабораторний стенд для дистанційного вивчення принципів функціонування, програмування та практичного освоєння сучасних мікропроцесорних систем управління [20] складається з мікроконтролера, що встановлений на монтажну плату, програматора, кнопкової клавіатури, цифрового індикатора, п'єзодинаміка, датчика температури, лічильника реального часу, інтерфейсного блоку, зовнішнього контактного рознімача, блоку світлодіодної індикації, комп'ютера, матричного графічного дисплея, блоку зовнішньої пам'яті, блоку імітації дій користувача та оглядової цифрової відеокамери. Завдяки блоку імітації дій користувача та відеокамері можливе дистанційне вивчення та виконання практичних завдань щодо віддаленого програмування та контролю роботи мікропроцесорних систем. Головним недоліком конструкції є те, що у даному лабораторному стенді відсутні апаратні та програмні засоби для дистанційного вивчення та виконання практичних завдань щодо віддаленого програмування та контролю роботи систем типу Розумний будинок. Зокрема, відсутній достатній набір датчиків та виконавчих пристроїв, а також програмні засоби для їх опитування та зміни станів. Крім того, не передбачені можливості дистанційного вивчення та управління процесами функціонування в режимі реального часу одночасно декількома користувачами.

**Постановка проблеми.** Таким чином, наявні віддалені лабораторії та лабораторні стенди з дистанційною взаємодією не надають повного набору можливостей щодо створення та дослідження прототипу системи Розумний будинок.

Отже, завдання розробки віддаленої лабораторії для веб-орієнтованого швидкого прототипування систем Розумний будинок з метою їх дослідження та подальшого прийняття проектних рішень щодо використовуваних схем, компонентів, протоколів, інтерфейсів та алгоритмів управління, є актуальним.

**Мета статті.** Для ефективної реалізації веб-орієнтованого прототипування смарт систем на основі засобів віддаленої інженерії, необхідно розробити систему управління інфраструктурою віддаленої лабораторії, реалізувати апаратне та програмне забезпечення та запропонувати метод створення та дослідження прототипу.

**Результати досліджень.** В якості основи розробки віддаленої лабораторії було обрано систему управління інфраструктурою будинку "Розумний дім" [21], яка складається з датчиків,

відеокамер і виконавчих пристроїв, що з'єднані з сервером управління. В якості серверу управління використовується шлюз, що містить безпровідний приймально-передавальний елемент і забезпечує вихід в мережу Ethernet, а мережею Інтернет зв'язаний з хмаровим сервером. Web-сервіс у хмаровому сервері забезпечує реєстрацію пристроїв і конфігурування алгоритмів їх взаємодії з подальшою передачею конфігурації у шлюз. Шлюз забезпечує також керування системою за допомогою Android планшета або смартфона через домашню систему Wi-Fi.

Головним недоліком цієї системи управління є те, що шлюз виконує одночасно функції сервера управління та інтерфейсного модуля зв'язку з периферійною системою, що знижує гнучкість системи. Крім того, робота шлюзу безпосередньо залежить від конфігурації, отриманої через Інтернет з хмарового серверу, що знижує рівень надійності системи. Користувачам надаються два рівні взаємодії з системою: через Web-сервіс можливо створити та передати конфігурацію до шлюзу, а через домашню систему Wi-Fi видавати оперативну інформацію про стан контрольованого об'єкту на планшет або смартфон користувача, що обмежує можливості дистанційної взаємодії користувача з системою через Web-сервіс в реальному часі. Все це не дозволяє використовувати систему для дистанційного вивчення та виконання практичних завдань щодо віддаленого контролю роботи в режимі реального часу одночасно декількома користувачами.

Таким чином, в основу розробки було поставлено завдання вдосконалення системи управління інфраструктурою віддаленої лабораторії шляхом заміни серверу управління та Web-сервісу у хмаровому сервері з метою забезпечення гнучкості та надійності системи, можливості дистанційного вивчення та віддаленого контролю роботи систем типу Розумний будинок одночасно декількома користувачами в режимі реального часу.

Вирішення цієї задачі досягається шляхом створення системи управління інфраструктурою віддаленої лабораторії на основі розробки та використання серверу управління та Web-сервісу, що забезпечують можливість дистанційної взаємодії користувача з системою в режимі реального часу з метою віддаленого опитування та зміни параметрів датчиків та станів виконавчих пристроїв, за умови забезпечення режиму, розрахованого на багато користувачів.

Саме реалізація серверу управління на основі структури «центральний блок опитування та зміни станів – конвертори інтерфейсів - модулі» дозволяє підвищити гнучкість та надійність системи шляхом розподілу функцій управління та зв'язку з периферійною системою.

При цьому, як центральний блок опитування та зміни станів використано міні-комп'ютер Raspberry Pi 2 з встановленою платформою домашньої автоматизації OpenHAB, яка забезпечує опитування параметрів датчиків та станів виконавчих пристроїв та організацію виводу інформації у структуру REST API, що реалізує віддалений доступ для контролю поточних параметрів та станів. В якості конверторів інтерфейсів використано COM-RS485 та RS485-UART, а в якості модулів апаратно-програмні платформи Arduino Nano з встановленим розробленим програмним забезпеченням. Розроблене оригінальне програмне забезпечення для модулів зчитує параметри аналогових або цифрових датчиків, встановлює стани виконавчих пристроїв та відтворює роботу надійного промислового протоколу Modbus з інтерфейсом RS485 для можливості обміну даними з сервером управління. Використання протоколу Modbus надає можливість подальшого розширення системи шляхом збільшення кількості модулів або навіть лабораторних стендів, на основі єдиного протоколу.

Вихід в мережу Інтернет забезпечує підключений до серверу управління мережевий маршрутизатор Dlink Dir300 A1, що підтримує мережеву структуру з відеокамерою D-Link DCS-910 та забезпечує зв'язок з Web-сервісом у хмаровому сервері. Для кожного виду обладнання, що використовує мережеве з'єднання, було створено статичну маршрутизацію, шляхом використання якої мережева інфраструктура залишається завжди незмінною. В якості Web-сервісу використано розроблений інтерфейс RELDES, що виконує запити до REST API на сервері управління та надає можливість віддаленого керування апаратними засобами, зчитування параметрів та встановлення необхідних станів. При цьому, Web-сервіс RELDES реалізує доступ до модулів, розрахований на багато користувачів. Саме так забезпечується віддалений контроль роботи системи декількома користувачами одночасно в режимі реального часу.

Таким чином, шляхом реалізації системи управління інфраструктурою віддаленої лабораторії на основі заміни серверу управління та Web-сервісу, гнучкого розподілу функцій серверу управління на основі структури «центральний блок опитування та зміни станів – конвертори інтерфейсів - модулі», а також контролю роботи системи декількома користувачами у режимі реального часу через інтерфейс RELDES з застосуванням відеокамери, створено ефективний засіб прототипування смарт системи на основі засобів віддаленої інженерії. Дана віддалена лабораторія надає можливість створення та дослідження прототипів системи Розумний будинок в режимі реального часу одночасно декількома користувачами [22-24].

Схему розробленої інфраструктури наведено на рис. 1. Вона містить: блок живлення 220В-12В/5В для живлення маршрутизатору, серверу управління, модулів, датчиків і виконавчих пристроїв; сервер управління, що реалізований на базі міні-комп'ютера Raspberry Pi 2 Model B, до якого під'єднані за допомогою конверторів інтерфейсів COM-RS485 та RS485-UART модулі, які реалізовані на базі апаратно-програмних платформ Arduino Nano; датчики та виконавчі пристрої, що під'єднані до модулів; маршрутизатор Dlink Dir300 A1, до якого під'єднано через домашню мережу Ethernet

відеокамеру D-Link DCS-910 для перегляду відео зображення у режимі реального часу. Маршрутизатор забезпечує вихід в мережу Інтернет та зв'язок з хмаровим сервером. Web-сервіс у хмаровому сервері забезпечує дистанційну взаємодію користувачів з системою.

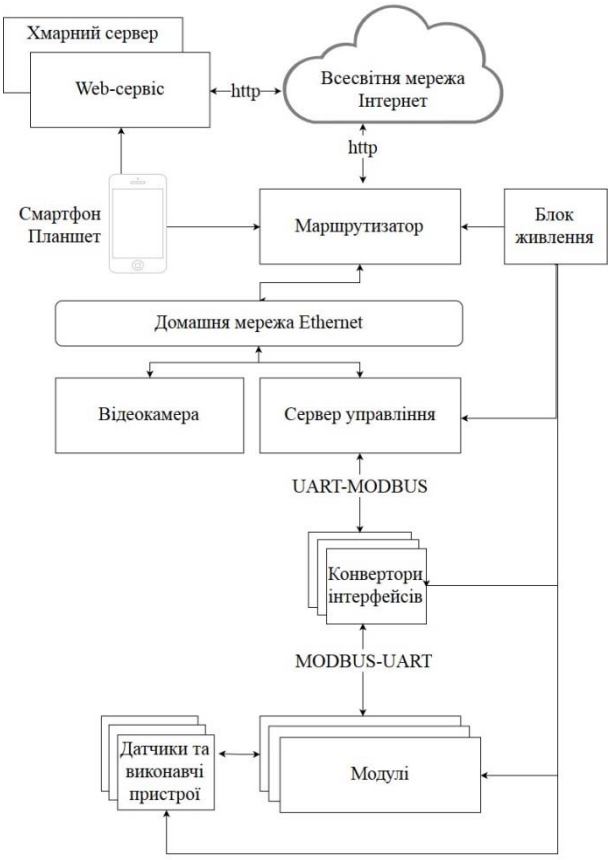



Рис. 1. Інфраструктура віддаленої лабораторії

Процес роботи системи управління інфраструктурою віддаленої лабораторії полягає в опитуванні параметрів датчиків та станів виконавчих пристроїв та їх зміні за допомогою Web-сервісу для дистанційного вивчення та контролю роботи в режимі реального часу одночасно декількома користувачами.

Після підключення напруги живлення до лабораторного стенду, відбудеться автоматичний старт блоку живлення, відеокамери, модулів та завантаження операційної системи на сервері управління. Далі починається запуск платформи домашньої автоматизації OpenHAB. При цьому, обладнання на лабораторному стенді буде встановлено у початкові стани (для випадку, якщо у минулому було виконано незаплановане відключення від живлення). На наступному етапі, відбудеться запуск REST API для організації віддаленого доступу до станів та керування обладнанням. Після цього віддалена лабораторія стає доступною для зовнішніх запитів від користувачів через Web-сервіс RELDES з використанням комп'ютера, смартфона чи планшета.

Основні етапи запропонованого методу веб-орієнтованого прототипування представлено на рис. 2. Для побудови прототипу користувачі, на основі аналізу вимог до проектованої смарт системи, обирають через інтерфейс RELDES потрібні підсистеми за функціональною ознакою (керування освітленням, вентиляційними та опалювальними системами, клімат-контроль, контроль присутності, контроль доступу та безпеки, контроль кібербезпеки та інші). Далі, виконують аналіз апаратного та програмного забезпечення та пропонованих повторно використовуваних рішень (схеми підключення компонентів, типові коди програм та ін.). На наступному етапі формують запити для опитування параметрів датчиків (сенсорів) та станів виконавчих пристроїв (актуаторів). Далі, з метою відпрацювання алгоритму керування системою, проектувальник може сформувати запити щодо зміни станів актуаторів та дослідити результати зміни їх станів, а також параметрів сенсорів. На наступному етапі, система надає користувачам візуальне відображення чисельних параметрів датчиків та станів актуаторів у вікні виводу текстової інформації. Користувачі спостерігають результати зміни станів виконавчих пристроїв у вікні трансляції відео з відеокамери, а також отримують загальний звіт щодо параметрів датчиків та станів всіх виконавчих пристроїв системи у вікні інтерфейсу RELDES, або безпосередньо в інтерфейсі OpenHAB на смартфоні або планшеті. Web-сервіс RELDES виконує автоматичний контроль взаємодії користувачів з інфраструктурою віддаленої лабораторії та коректне завершення роботи з автоматичним переведенням

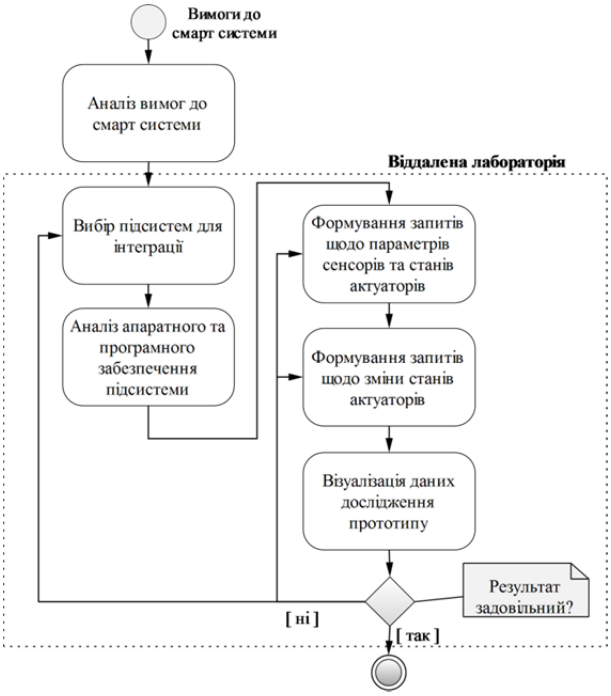



Рис. 2. UML діаграма послідовності етапів методу веб-орієнтованого прототипування

апаратних засобів у початкові стани. За результатами дослідження прототипу, користувач приймає рішення щодо можливих варіантів розвитку проекту смарт системи.

**Висновок.** В результаті проведених досліджень створено програмне та апаратне забезпечення віддаленої лабораторії для прототипування смарт систем. На основі інфраструктури віддаленої лабораторії можливо виконати інтеграцію підсистем смарт системи, а також дослідити їх функціонування з урахуванням вимог щодо енергоефективності, безпеки та кібербезпеки.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що отримав подальший розвиток метод веб-орієнтованого швидкого прототипування інформаційних систем на основі використання засобів віддаленої інженерії.

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблена віддалена лабораторія може бути використана для створення та дослідження прототипу смарт системи на етапах функціонально-логічного, схемотехнічного та конструкторського проектування, що дозволить підвищити точність проектних рішень, знизити витрати на доробку та, таким чином, забезпечити якість та надійність створюваних смарт систем.

**Література**


1. Porter M. How Smart, Connected Products Are Transforming Companies / M. Porter, J. Heppelmann // Harvard in Business Review Articles. [Online]. Available: http://www.ptc.com/internet-of-things/harvard-business-review/download-article-2#sthash.L5wGKzcN.dpuf
2. IoT Path to Product: Smart Home. [Online]. Available: http://www.codeproject.com/Articles/1119436/IoT-Path-to-Product-Smart-Home
3. Rucinski A. Disruptive Innovation in the Era of Global Cyber-Society: With Focus on Smart City Efforts / A. Rucinski, R. Garbos, J. Jeffords, S. Chowdbury // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, University Politehnica of Bucharest. – 2017. – P. 1102-1104.
4. Haller H. Energy Consumption in Smarthome: Persuasive Interaction Respecting User's Values / H. Haller, V.-B. Nguyen, G. Debizet, Y. Laurillau, J. Coutaz, G. Calvary // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P. 804-809.
5. Zhang L. Optimization of the Power Flow in a Smart Home / L. Zhang, X. Xiong // Online Engineering & Internet of Things, Lecture Notes in Network and Systems, 2018 – P. 721-730
6. Levshun D. Design Lifecycle for Secure Cyber-Physical Systems based on Embedded Devices / D. Levshun, A. Chechulin, I. Kotenko // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P. 277-282.
7. Stamatescu G. Data-driven methods for Smart Building AHU subsystem modelling / G. Stamatescu, I. Stamatescu, N. Arghira, C. Dragana, I. Fagarasan // Proceedings of the International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P.617-621
8. Teslyuk V. Automation of the smart house system-level design / V. Teslyuk, V. Beregovskyi, A. Pukach // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2013. - Vol. 4. – P. 81-84
9. Liou W.F. Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development / W.F. Liou // CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton, FL 33487-2742. – 2007. – 592p. [Online]. Available: https://www.taylorfrancis.com/books/9781420014105
10. Бойцов Б.В. Повышение качества подготовки производства применением технологий быстрого прототипирования / Б.В. Бойцов, М.Ю. Куприков, Ю.В. Маслов // Электронный журнал «Труды МАИ». Вып. № 49. [Online]. Available: http://trudymai.ru/upload/iblock/d5f/povyshenie-kachestva-podgotovki-proizvodstva-primeneniem-tekhnologiy-bystrogo-prototipirovaniya.pdf
11. Автоматизація прототипування інформаційних систем. [Online]. Available: http://posibniki.com.ua/post-avtomatizaciya-prototipuvannya--informaciynih-sistem
12. Henke K. Web-based Rapid Prototyping of Digital Systems/ K. Henke, S. Krug // Proceedings of the International Conference on Interactive Computer-Aided Blended Learning. – 2011. – P. 22-27
13. Parkhomenko A. Recommendation System as a user-oriented service for the remote and virtual labs selecting / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Parkhomenko // Proceedings of the 21th International conference on Interactive collaborative learning and 47th IGIP International conference on engineering pedagogy (ICL2018) The challenges of the digital transformation in education. – 2018. – P. 569-578.
14. Henke K. Using Interactive Hybrid Online Labs for Rapid Prototyping of Digital Systems / K. Henke, G. Tabunshchyk, H.-D. Wuttke, T. Vietzke, St. Ostendorff // Proceedings of the International Conference on Remote Engineering & Virtual Instrumentation (REV2014). – 2014. – P.61-66
15. Parkhomenko A. Development and application of remote laboratory for embedded systems design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, E. Ivanov, A. Sokolyanskii, S. Kurson // International Journal of Online Engineering (iJOE), 2015. – Vol.11. – P. 27-31.
16. Parkhomenko A. Internet-based technologies for design of embedded systems / A. Parkhomenko, O. Gladkova, S. Kurson, A. Sokolyanskii, E. Ivanov // Journal of Control Science and Engineering, 2015. – Vol.3(2). – P. 55–63.
17. Parkhomenko A. Reusable solutions for embedded systems' design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Ya. Zalyubovskiy // Proceedings of the 13th international conference Remote engineering and virtual instrumentation. – 2016. – P. 313–317.
18. IoT reference implementation: how to build the Smart Home prototype. [Online]. Available: https://software.intel.com/en-us/articles/iot-reference-implementation-how-to-build-the-smart-home-prototype
19. Smart Home system. A wireless, voice-controllable, household system. [Online]. Available: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/Final

Projects/f2012/jw937_sz369/jw937-sz369/jw937_sz369.html
20. Пат. 86888, МПК (2009) G09B 23/00, G09B 23/18 (2009.01) Лабораторний стенд для дистанційного вивчення мікропроцесорних систем управління / Аврунін О.Г., Семенець В.В., Байбаков В.М., Вечур О.В., Крук О.Я., Носова Т.В., Семенець Р.В., Якомович П.В. // заявник і патентовласник – Харківський національний університет радіоелектроніки. - № c286888; заявл. 30.10.2007; опубл. 25.05.2009, бюл. № 10.
21. Пат. 81054, МПК (2013.01) G08B 19/00. Система управління інфраструктурою будинку «Розумний дім» / Калінін Д.Ю. // заявник і патентовласник - Калінін Д.Ю. - № u201212028; заявл. 19.10.2012; опубл. 25.06.2013, бюл. № 12. [Online]. Available: https://www.smashingmagazine.com/ 2010/06/design-better-faster-with-rapid-prototyping/
22. Parkhomenko A. Integrated complex for IoT technologies study / A. Parkhomenko, A. Tulenkov, A. Sokolyanskii, Y. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko // Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Network and Systems, 2017. – Vol.22. – P.322-330.
23. Parkhomenko A. The application of the remote lab for studying the issues of Smart House systems power efficiency, safety and cybersecurity / A. Parkhomenko, A. Tulenkov, A. Sokolyanskii, Y. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko, A. Stepanenko // Smart Industry & Smart Education. Lecture Notes in Network and Systems, 2018. – Vol.47. – P.395-403
24. Tulenkov A. The features of wireless technologies application for Smart house systems / A. Tulenkov, A. Parkhomenko, A. Sokolyanskii, A. Stepanenko, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of the 4th IEEE International symposium on wireless systems within the IEEE International conferences on Intelligent data acquisition and advanced computing systems. – 2018. – P.1-6

**References**

1. Porter M. How Smart, Connected Products Are Transforming Companies / M. Porter, J. Heppelmann // Harvard in Business Review Articles. [Online]. Available: http://www.ptc.com/internet-of-things/harvard-business-review/download-article-2#sthash.L5wGKzcN.dpuf
2. IoT Path to Product: Smart Home. [Online]. Available: http://www.codeproject.com/Articles/1119436/IoT-Path-to-Product-Smart-Home
3. Rucinski A. Disruptive Innovation in the Era of Global Cyber-Society: With Focus on Smart City Efforts / A. Rucinski, R. Garbos, J. Jeffords, S. Chowdbury // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, University Politehnica of Bucharest. – 2017. – P. 1102-1104.
4. Haller H. Energy Consumption in Smarthome: Persuasive Interaction Respecting User's Values / H. Haller, V.-B. Nguyen, G. Debizet, Y. Laurillau, J. Coutaz, G. Calvary // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P. 804-809.
5. Zhang L. Optimization of the Power Flow in a Smart Home / L. Zhang, X. Xiong // Online Engineering & Internet of Things, Lecture Notes in Network and Systems, 2018 – P. 721-730
6. Levshun D. Design Lifecycle for Secure Cyber-Physical Systems based on Embedded Devices / D. Levshun, A. Chechulin, I. Kotenko // Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P. 277-282.
7. Stamatescu G. Data-driven methods for Smart Building AHU subsystem modelling / G. Stamatescu, I. Stamatescu, N. Arghira, C. Dragana, I. Fagarasan // Proceedings of the International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – 2017. – P.617-621
8. Teslyuk V. Automation of the smart house system-level design / V. Teslyuk, V. Beregovskyi, A. Pukach // Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2013. - Vol. 4. – P. 81-84
9. Liou W.F. Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development / W.F. Liou // CRC Press Taylor & Francis Group Boca Raton, FL 33487-2742. – 2007. – 592p. [Online]. Available: https://www.taylorfrancis.com/books/9781420014105
10. Boytsov B.V. Improving the quality of pre-production using rapid prototyping technologies / B.V. Boytsov, M.Yu. Kuprikov, Yu.V. Maslov // Electronic journal "Proceedings of the MAI". Issue № 49. [Online]. Available: http://trudymai.ru/upload/iblock/d5f/povyshenie-kachestva-podgotovki-proizvodstva-primeneniem-tekhnologiy-bystrogo-prototipirovaniya.pdf
11. Automation of the information systems prototyping. [Online]. Available: http://posibniki.com.ua/post-avtomatizaciya-prototipuvannya--informaciynih-sistem
12. Henke K. Web-based Rapid Prototyping of Digital Systems/ K. Henke, S. Krug // Proceedings of the International Conference on Interactive Computer-Aided Blended Learning. – 2011. – P. 22-27
13. Parkhomenko A. Recommendation System as a user-oriented service for the remote and virtual labs selecting / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Parkhomenko // Proceedings of the 21th International conference on Interactive collaborative learning and 47th IGIP International conference on engineering pedagogy (ICL2018) The challenges of the digital transformation in education. – 2018. – P. 569-578.
14. Henke K. Using Interactive Hybrid Online Labs for Rapid Prototyping of Digital Systems / K. Henke, G. Tabunshchyk, H.-D. Wuttke, T. Vietzke, St. Ostendorff // Proceedings of the International Conference on Remote Engineering & Virtual Instrumentation (REV2014). – 2014. – P.61-66
15. Parkhomenko A. Development and application of remote laboratory for embedded systems design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, E. Ivanov, A. Sokolyanskii, S. Kurson // International Journal of Online Engineering (iJOE), 2015. – Vol.11. – P. 27-31.
16. Parkhomenko A. Internet-based technologies for design of embedded systems / A. Parkhomenko, O. Gladkova, S. Kurson, A. Sokolyanskii, E. Ivanov // Journal of Control Science and Engineering, 2015. – Vol.3(2). – P. 55–63.
17. Parkhomenko A. Reusable solutions for embedded systems' design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Ya. Zalyubovskiy // Proceedings of the 13th international conference Remote engineering and virtual instrumentation. – 2016. – P. 313–317.

18. IoT reference implementation: how to build the Smart Home prototype. [Online]. Available: https://software.intel.com/en-us/articles/iot-reference-implementation-how-to-build-the-smart-home-prototype
19. Smart Home system. A wireless, voice-controllable, household system. [Online]. Available: https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/FinalProjects/f2012/jw937_sz369/jw937-sz369/jw937_sz369.html
20. Patent 86888, IPC (2009) G09B 23/00, G09B 23/18 (2009.01) Laboratory stand for remote study of the microprocessor control systems / O.G. Avrunin, V.V. Semenets, V.M. Baibakov, O.V. Vechur, O.Ya. Kruk, T.V. Nosova, R.V. Semenets, P.V. Yakomovich // Applicant and patent holder – Kharkiv National University of Radioelectronics. – No. c86888; stated. 30.10.2007. published 25.05.2009, bul. No. 10
21. Patent 81054, IPC (2013.01) G08B 19/00. Smart House Infrastructure Control System / Kalinin D.Yu. // Applicant and patent holder - Kalinin D.Yu. - № u201212028; stated. 19.10.2012; published 25.06.2013, bul. No. 12 [Online]. Available: https://www.smashingmagazine.com/ 2010/06/design-better-faster-with-rapid-prototyping/
22. Parkhomenko A. Integrated complex for IoT technologies study / A. Parkhomenko, A. Tulenkov, A. Sokolyanskii, Y. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko // Online Engineering & Internet of Things. Lecture Notes in Network and Systems, 2017. – Vol.22. – P.322-330.
23. Parkhomenko A. The application of the remote lab for studying the issues of Smart House systems power efficiency, safety and cybersecurity / A. Parkhomenko, A. Tulenkov, A. Sokolyanskii, Y. Zalyubovskiy, A. Parkhomenko, A. Stepanenko // Smart Industry & Smart Education. Lecture Notes in Network and Systems, 2018. – Vol.47. – P.395-403
24. Tulenkov A. The features of wireless technologies application for Smart house systems / A. Tulenkov, A. Parkhomenko, A. Sokolyanskii, A. Stepanenko, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of the 4th IEEE International symposium on wireless systems within the IEEE International conferences on Intelligent data acquisition and advanced computing systems. – 2018. – P.1-6

**Пархоменко А.В., Туленков А.В., Соколянский А.В., Гладкова О.Н., Залюбовский Я.И. Исследование и разработка метода веб-ориентированного прототипирования при проектировании смарт систем.**

*В статье рассмотрены вопросы применения технологий прототипирования при создании смарт систем. Выполнен обзор существующих методов прототипирования и показаны возможности использования удаленных лабораторий для веб-ориентированного прототипирования смарт систем. Представлена инфраструктура удаленной лаборатории, которая может использоваться в качестве средства построения прототипа смарт системы, с целью исследования принципов ее функционирования и контроля. Представлен метод прототипирования системы Умный дом на основе технологий удаленной инженерии.*

***Ключевые слова:*** *прототипирование, Умный дом, удаленная лаборатория, инфраструктура, программно-аппаратная платформа, протокол, сервер управления, веб-сервис.*

**Parkhomenko A.V., Tulenkov A.V., Sokolyanskii O.V., Gladkova O.M., Zalyubovskiy Ya.I. Research&Development of web-based prototyping method for smart systems design.**

*The article discusses the usage of prototyping technologies for smart systems creation. The overview of the existing prototyping methods is done and the possibilities of remote laboratories application for web-based prototyping of smart systems are shown. The infrastructure of a remote laboratory is presented, which can be used as a tool for developing a prototype of a smart system, with the aim of studying the principles of its operation and control. The method of Smart House system prototyping is presented which is based on remote engineering technologies.*

***Keywords:*** *prototyping, Smart House, remote laboratory, infrastructure, software-hardware platform, protocol, control server, web service.*

**Пархоменко А.В.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: parhom@zntu.edu.ua
**Туленков А.В.** – аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: aetulenkov@gmail.com
**Соколянський О.В.** –аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: jorapobeditel@gmail.com
**Гладкова О.М.** –старший викладач кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: gladolechka@gmail.com
**Залюбовський Я.І.** –аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, e-mail: yarik220v@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Суворін О.В.***

Стаття подана 10.11.2018

УДК 004.9

# ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ВСЕРЕДИНІ ПРИМІЩЕННЯ

**Петрова О.А., Табунщик Г. В.**

# THE INFORMATION TECHNOLOGY OF ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF INDOOR NAVIGATION SYSTEMS

**Petrova O., Tabunshchyk G.**

*В статті проведений аналіз розроблених методів для підвищення точності визначення координат, швидкості обробки даних, визначення коректного маршруту та верифікації систем indoor-навігації. Наведено класифікацію методів оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. Авторами запропонована інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення, що враховує метрики як програмного так і апаратного забезпечення*

***Ключові слова:*** *BLE, RSSI, Beacon,, indoor-навігація, визначення поточного положення, верифікація*

**Вступ.** У сучасному світі все більшої популярності набувають технології позиціонування та навігації всередині приміщення. Данні технології дозволяють орієнтуватися в великих приміщеннях та визначати поточне місце знаходження. Основні групи технологій, які використовуються: радіочастотні технології, технології локального позиціонування (інфрачервоні й ультразвукові), радіочастотні мітки.

Важливою проблемою систем позиціонування та навігації є надійність, тобто властивість системи зберігати працездатність в заданих умовах функціонування. Низький рівень надійності системи може призвести до значних витрат на ремонт, простій, аварії. Покращити надійність можливо за рахунок додаткового та більш вартісного обладнання. Але в сучасних економічних умовах важливим завданням є зменшення собівартості та розмірів сучасного обладнання. Також неодмінною умовою підвищення ефективності роботи є оптимальна інформаційна технологія, що володіє гнучкістю, мобільністю й адаптивністю до зовнішніх впливів. Інформаційна технологія передбачає вміння працювати з інформацією та обчислювальною технікою, тому розробка методів та моделей спрямованих на покращення надійності є актуальною проблемою.

**Постановка проблеми.** При використанні систем indoor-навігації виникають проблеми точності визначення координат, швидкості обробки даних і визначення коректного маршруту. Виникнення цих проблем сильно впливає на коректність роботи системи. Для вирішення проблем використовувалися данні з маячків, датчиків, карти, голосових повідомлень.

Маячки iBeacon реалізовані з використанням протоколу BLE 4.0. Ці маячки із заданою періодичністю виробляють розсилку сигналу завдяки якій можна ідентифікувати маячок [1]. Для визначення поточного положення на карті беруть показники сигналу RSSI, однак, на практиці параметр рівня сигналу не стабільний, що ускладнює коректне визначення положення. Для підвищення точності можна провести розрахунок за трьома точками.

Для відновлення координат в реальному часі можна використовувати фільтр Калмана, Калмана - Бьюси, гібридний фільтр Калмана. Але використання будь-якого з вищеперерахованих підходів не гарантує низький рівень похибки.

Похибку прогнозу можна зменшити за допомогою застосування відразу двох систем:

- визначення положення за допомогою Beacon маячків,
- використовувати для корекції цього положення інерційну навігаційну систему, що складається з акселерометра, гіроскопа.

Таким чином отримано модифікований інтегрований метод визначення поточного положення на карті приміщення заснований на аналізі сигналу від iBeacon і акселерометра, модифікований методом Калмана, що дозволяє оперативно коригувати значення поточного положення, і дозволяє зменшити похибку.

Після розробки інтегрованого методу виникає необхідність перевірки правильності визначення поточного положення на карті [2]. Для верифікації був розроблений нейро-нечіткий метод з використанням самоорганізованих карт Кохонена [3,4].

**Мета.** На основі розроблених методів та моделей була поставлена мета підвищення точності оцінки надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення за рахунок розробки інформаційної технології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасний етап розвитку теорії надійності систем геолокації ставить перед розробниками завдання більш точної оцінки надійності [5]. Його завданням є розробка теоретичних основ надійності, моделей, методів і практичних технологій для визначення надійності систем навігації всередині приміщення [6].

Задачі надійності систем позиціонування та навігації розглядалися в роботах: Рон Уоттерс [7], Ендрю Г. Демпстер [8], Гапанюк Ю.Е [9] Харченко В.С. [5], Маєвский Д.А. [6], Благодатських В.А. [10], Полонікова Р. І. [11] Хетч С. [12].

Завдання верифікації систем геолокації розглядалися в роботах: Бінгао Лі [13], Гаврилов А.В.[14].

Завдання порівняння і вибору технологій розглядалися в роботах: Кріс Різос [15], Райнер Маутц [16], Щекотов М.С [17].

В якості основних параметрів надійності систем позиціонування і навігації всередині приміщення виділяють [18]:

- параметри безвідмовності (ймовірність безвідмовної роботи, середній наробіток до відмови, середнє напрацювання на відмову, гамма-відсоткова напрацювання до відмови, інтенсивність відмов, параметр потоку відмов, середня частка безвідмовної напрацювання, щільність розподілу часу безвідмовної роботи);
- параметри довговічності (середній ресурс, гамма-процентний ресурс, призначений ресурс, середній термін служби, гамма-процентний термін служби, призначений термін служби);
- параметри ремонтопридатності (ймовірність відновлення працездатного стану, середній час відновлення працездатного стану, інтенсивність відновлення);
- параметри зберігання (середній термін зберігання, гамма-процентний термін зберігання).

На основі аналізу можна зробити висновок, що велика різноманітність моделей оцінки та параметрів надійності потребує розробки методів та їх класифікації.

Класифікація запропонована Благодатських В.А. [10] - найпростіша та розділяє методи га аналітичні (динамічні та статичні) та емпіричні. Аналітичні дають можливість розраховувати кількісні показники надійності. Емпіричні базуються на аналізі структурних особливостей.

Класифікація Полонікова Р. І. [11] розділяє методи на класи по ознакам: структура часу, складність, структура простору вхідних даних, розмітка помилок.

Класифікація Хетча [12] розділяє методи на прогнозовані, вимірювальні та оцінювальні.

Прогнозовані основані на технічних характеристиках системи. Вимірювальні призначені для вимірювання надійності з фіксованою конфігурацією. Оцінювальні базуються на випробуваннях системи.

Класифікація В.С. Харченко [19] ділить на типи: параметричні, статичні, структурні, імовірнісні.

Параметричні використовують для прогнозування числа дефектів.

Статичні визначають показники надійності на основі статичного аналізу.

Структурні методи основані на моделюванні структури та вхідних даних.

Імовірнісні або моделі росту надійності використовують статичні дані про виявлені дефекти для розрахунку основних показників надійності.

Системи позиціонування та навігації це системи реального часу що інтегрують рішення як на апаратному рівні так і на рівні програмного забезпечення. Методи оцінювання надійності для програмного і апаратного забезпечення істотно відрізняються, що призводить до неоднозначних висновків.

Тому було поставлене задання розробити інформаційну технологію, що дозволить підвищити точність оцінювання показників надійності систем навігації всередині приміщення.

**Модель.** На першому етапі необхідно сформувати множину вхідних даних системи, зокрема показники маячків та датчиків, відеопотоку, визначити карти та перелік голосових повідомлень.

Відповідно до технологій, що використовуються, формується перелік метрик визначення показників надійності систем навігації.

Наприклад, для апаратного забезпечення розраховують надійність пристрою з n елементів за формулою:

$$Pap = \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i) \qquad (1)$$

де n (i) – це кількість елементів;

i – номер елемента;

p – надійність елемента.

Для програмного забезпечення розраховують імовірність безвідмовної роботи :

$$P(t) = 1 - Q(t) \qquad (2)$$

де Q(t)- імовірність виникнення відмови за час t.

Інтегрована модель системи навігації всередині приміщення виглядатиме так:

$$S = < X, B, R, Z, K, Rsys(t) > \qquad (3)$$

де X - вхідні дані ($x_1$ - дані з датчиків $x_2$ - показники акселерометра, $x_3$ - свідчення гіроскопа, $x_4$ дані з маячків);

B - картографічне представлення (карта представлена у вигляді матриці [M, N], де M - кількість точок по осі X, N - кількість точок по осі У);

R - інформація про прийняті рішення ($r_1$, $r_2$ ... $r_n$);

Z - пристрої виведення ($z_1$ - камера, $z_2$ - аудіозапис, $z_3$-телефон);

K - режим роботи ($к_1$ - автономний, $к_2$ керований);

Rsys(t) – параметр надійності.

Для даного класу систем функція надійності буде:

$$Rsys(t)= \Pi \forall FailOpp R_i(t) \quad (4)$$

де $R_i(t)$ – імовірність, що не буде відмови для і-ї підсистеми за час *t*.

Інформаційна система формує дані для оцінювання метрик надійності на основі даних отриманих інтегрованим методом визначення поточного розташування та нейро-нечіткий метод верифікації.

На основі отриманих методів розроблена модель, яка може вирішити такі завдання:

- прогнозування можливих збоїв;
- можливість використання часткової автоматизації прийняття рішень для усунення збоїв.

Досягнутий результат підвищує точність від 0.007% до 0.047%, шляхом використання апарату нейронних мереж та нечіткої логіки, що дозволяє його враховувати при побудові інтегрованої моделі системи.

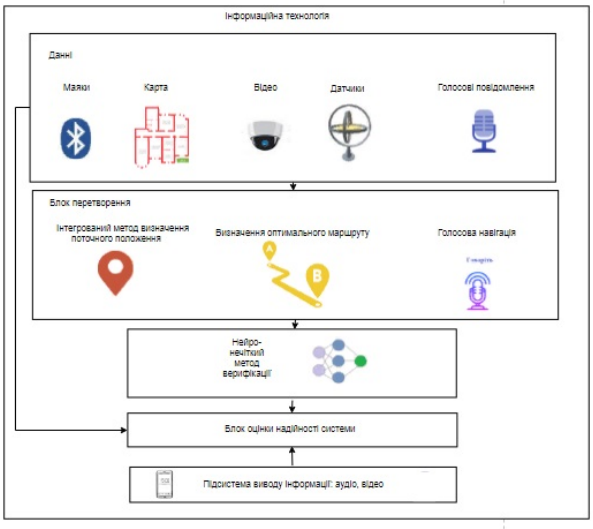



Рис. Інформаційна технологія

Таким чином на основі розроблених методів та моделей була розроблена інформаційна технологія оцінювання надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення.

**Висновки.** Основний науковий результат полягає у вирішенні науково практичного завдання підвищення надійності систем позиціонування та навігації всередині приміщення. Також використання інформаційної технології дозволяє адаптувати систему SMART-CAMPUS для слабозорих.

Наукова новизна. В ході дослідження отримані такі результати:

Вперше запропоновано інтегровану модель системи навігації всередині приміщення, що дозволяє динамічно оцінювати поточний стан системи.

Практична цінність роботи. На основі розроблених методів та моделей була отримана інформаційна технологія оцінки надійності систем навігації всередині приміщення, що враховує метрики як програмного так і апаратного забезпечення.

Робота виконана на кафедрі Програмних засобів Запорізького національного технічного університету (ЗНТУ) в рамках теми № 0117U000615 «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатокомпонентному зовнішньому середовищі».Також робота виконана в рамках договору про науково-технічне співробітництво № 417/156/1.4917 від 4.05.2017 між ЗНТУ та товариством з обмеженою відповідальністю «Інфоком ЛТД».

**Література**

1. Tabunshchyk, G. Smart-campus infrastructure development based on BLE 4.0 / G. Tabunshchyk, D. Van Merode, Y. Goncharov, K. Patrakhalko – Published in the Journal Electrotechnic and Computer Systems No. 18 (94), 2015
2. Петрова О.А. Метод определения текущего расположения в системах позиционирования и навигации внутри помещения / О.А. Петрова, Г.В Табунщик, Дирк Ван Мероде // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. – № 25. – С. 270-278. DOI: http://dx.doi.org/ 10.15276/eltecs.25.101.2017.31
3. Петрова, О.А. Метод нейро-нечеткой верификации систем позиционирования и навигации внутри помещения / О.А. Петрова, Г.В. Табунщик, Т.И. Каплиенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" (ІКОТ-2017). – Покровськ: ДВНЗ "ДонНТУ". – 2017. . –№2 (25). – С. 84-89.
4. Petrova O. Fuzzy verification method for indoor-navigation systems / O. Petrova, G. Tabunshchyk, T. Kapliienko, O. Kapliienko // Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th International Conference, Ukraine, 20-24 February 2018, Lviv-Slavske: IEEE, 2018. – P. 65-68, DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336157
5. Харченко В. С. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / О. Н. Одарущенко, А. А. Руденко, В. С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2012. - № 7. - С. 294–300.

6. Маевский Д.А. Верификация моделей надежности программного обеспечения / Д. А. Маевский, Е. Ю. Маевская, О. П. Жеков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2014. - № 5. - С. 55-59.
7. Watters R. Teaching Map and Compass: Navigating from the Classroom to the Outdoors / R. Watters .– [Електронний ресурс]. – 2016 – http://www2.isu.edu/outdoor/mapshort.htm
8. Andrew G. Dempster Vector Distance Measure Comparison in Indoor Location Fingerprinting/ Andrew G. Dempster, V.Moghtadaiee nternational Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2015.- P. 342-344
9. Гапанюк Ю.Е Методы оценки положения объекта в пространстве \ Жуков Р.В, Гапанюк Ю.Е Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038.- 2015.- 49 с.
10. Благодатских В.А. Стандартизация разработки программных средств / Благодатских В.А., Волонин В.А., Поскакалов К.Ф. : уч. Пособие под ред. О.С. Разумова\\ Финансы и статистика. – М. – 2003, 284 с.
11. Полонников Р.И. Методы оценки показателей надежности програмного обеспечения / Полонников Р.И. Никандров А.В.// СПб: политехника.- 1992. –99 с.
12. Haag S., Raja H.K. Sekade L.L. Quality Function Deployment. Usage in Software Development // Comm. Of ACM, - 1998,- 39 p.
13. Satellite Navigation & Positioning Laboratory – [Електронний ресурс]. – 2017 – http://www.snap.unsw.edu.au/staff/binghao-li
14. Gavrilov A. V. A model of spike neuron oriented to hardware implementation / A. V. Gavrilov, V. M. Kangler, M. N. Katomin, K. Panchenko // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016) : proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. – Novosibirsk : NSTU, 2016. – P. 521-525. - ISBN 978-1-5090-0853-7. - DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884170.
15. Rizos, C Indoor positioning techniques based on wireless LAN \ C Rizos, AG Dempster, B Li, J Salter – 2007.- 369 p.
16. Mautz, R. Indoor Positioning Technologies, SVH, ISBN 978-3-8381-3537-3, no. 3754.- 2012.- P.136p.
17. Щекотов, М. С. Сравнительный анализ систем позиционирования смартфонов в помещениях [Текст] / М. С. Щёкотов, А. М. Кашевник – Труды СПИИРАН. – 2012, №. 4(23).- 460 с.
18. Теория надежности [Электронный ресурс] - 2015 – режим доступа: http://fan-5.ru/better/article-198251.php
19. Харченко В. С. Оценка качества и экспертиза программного обеспечения / Харченко В. С., Андрашов А.А., Лобачева Е.И. // Харьков: ХАИ, - 2008, - 99 с.

**References**

1. Tabunshchyk, G. Smart-campus infrastructure development based on BLE 4.0 / G. Tabunshchyk, D. Van Merode, Y. Goncharov, K. Patrakhalko - Published in The Journal of Electrotechnic and Computer Systems. 18 (94), 2015
2. Petrova O.A. Method for determining the current location in positioning systems and indoor navigation / O.A. Petrova, G.V. Tabunshchik, Dirk Van Merodet // Electrotechnical and Computer Systems. - 2017. - № 25. - P. 270-278. DOI: http://dx.doi.org/ 10.15276 / eltecs.25.101.2017.31
3. Petrova, O.A. The method of neuro-fuzzy verification of positioning and navigation systems inside the premises / O.A. Petrova, G.V. Tabunshchik, T.I. Kap-lienko // Naukov_ Pratsi Donetsky National Technological University. Seria "Informatics, Cybernetics and Objective Technology" (IKOT-2017). - Pokrovsk: DVNZ "DonNTU". - 2017.. –№2 (25). - P. 84-89.
4. Petrova O. Fuzzy / O. Petrova, G. Tabunshchyk, T. Kapliienko, O. Kapliienko // Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET): 14th International Conference, Ukraine, 20-24 February 2018, Lviv-Slavske: IEEE, 2018. - P. 65-68, DOI: 10.1109 / TCSET.2018.8336157
5. Kharchenko V.S. Method of estimating the reliability of software tools taking into account secondary defects / O.N. Odarushchenko, A.A. Rudenko, V.S. Kharchenko // Radio-electronic and computer systems. - 2012. - № 7. - P. 294–300.
6. Mayevsky D.A. Verification of software reliability models / D. A. Maevsky, E. Yu. Maevskaya, O. P. Zhekov // Radio Electronics and Computer Systems. - 2014. - № 5. - P. 55-59.
7. Watters R. Teaching Map and Compass: Navigating from the Classroom to the Outdoors / R. Watters .– [Electronic resource]. - 2016 - http://www2.isu.edu/outdoor/mapshort.htm
8. Andrew G. Dempster Distances Measurement Comparison in Indoor Location & Fingerprints / Andrew G. Dempster, V.Moghtadaiee International Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2015.- P. 342-344
9. Gapanyuk Yu.E. Methods for assessing the position of an object in space. R.V. Zhukov, Yu.E. Gapanyuk Youth Scientific and Technical Gazette FS77-51038.-2015.-49 p.
10. Blagodatskikh V.A. Standardization of software development / Blagodatskikh VA, Volonin VA, Poskakalov KF : uch. Handbook ed. O.S. Razumova \\ Finance and Statistics. - M. - 2003, 284 p.
11. Polonnikov R.I. Methods for assessing the performance of software / Polonnikov R.I. Nikandrov A.V. // SPb: Polytechnic .- 1992. –99 p.
12. Haag S., Raja H.K. Sekade L.L. Quality Function Deployment. Usage in Software Development // Comm. Of ACM, - 1998, - 39 p.
13. Satellite Navigation & Positioning Laboratory - [Electronic resource]. - 2017 - http://www.snap.unsw.edu.au/staff/binghao-li
14. Gavrilov, AV model of spike neuron oriented to hardware implementation / AV Gavrilov, VM Kangler, MN Katomin, K. Panchenko // 11 International forum on strategic technology (IFOST 2016): proc., Novosibirsk, 1–3 June 2016. - Novosibirsk: NSTU, 2016. - p. 521-525. - ISBN 978-1-5090-0853-7. - DOI: 10.1109 / IFOST.2016.7884170.
15. Rizos, C Indoor positioning techniques based on wireless LAN \ C Rizos, AG Dempster, B Li, J Salter - 2007.- 369 p.
16. Mautz, R. Indoor Positioning Technologies, SVH, ISBN 978-3-8381-3537-3, no. 3754.- 2012.- 136p.
17. Schekotov, M.S. Comparative analysis of systems for the positioning of smartphones in rooms / M.S. Schekotov, A.M. Kashevnik - SPIIRAN Proceedings. - 2012, no. 4 (23) .- 460 p.
18. Theory of reliability [Electronic resource] - 2015 - access mode: http://fan-5.ru/better/article-198251.php
19. Kharchenko V.S. Quality assessment and examination of software / Kharchenko V.S., Andrashov A.A., Lobacheva E.I. // Kharkov: KhAI, - 2008, - 99 p.Mautz, R. (2012), Indoor Positioning Technologies, SVH, ISBN 978-3-8381-3537-3, no. 3754.- 136 p.

**Петрова О.А., Табунщик Г. В. Информационная технология оценки надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения.**

*В статье проведенн анализ разработанных методов для повышения точности определения координат, скорости обработки данных, определения корректного маршрута и верификации систем indoor-навигации. Приведена классификация методов оценки надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения. Авторами предложена информационная технология оценки надежности систем позиционирования и навигации внутри помещения, учитывающая метрики как программного так и аппаратного обеспечения*

***Ключевые слова:*** *BLE, RSSI, Beacon,, indoor-навигация, вы-значение текущего положения, верификация*

**Petrova O., Tabunshchyk G. The information technology of assessment of the reliability of indoor navigation systems**

*The article analyzes the developed methods to improve the accuracy of the determination of coordinates, the speed of data processing, the definition of the correct route and the verification of indoor-navigation systems. The classification of methods for assessing the reliability of positioning and navigation systems inside the premises is given. The authors propose an information technology for evaluating the reliability of positioning and navigation systems inside the premises, taking into account the metrics of both software and hardware.*

***Keywords:*** *BLE, RSSI, Beacon, indoor-navigation, value-setting of the current position, verification*

**Петрова Ольга Анатоліївна**, аспірант кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, E-mail petrovaoa353@gmail.com
**Табунщик Галина Володимирівна** – к.т.н., доцент, професор кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, E-mail: galina.tabunshchik@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Горбунов М.І.***

Стаття подана 10.11.2018

УДК 004.3

# АПАРАТНО - ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ЗАКРИТИХ ПРИМІЩЕНЬ

**Посохов І.О., Парамонова Т.А., Сафонова С.О.**

# HARDWARE AND SOFTWARE OF MONITORING INDOOR MICROCLIMATE PARAMETERS

**Posokhov I., Paramonova T., Safonova S.**

*У статті розглянуто питання щодо проведення щоденних замірів, реєстрації та перерахувань параметрів показників якості повітряного середовища робочої зони в лабораторії аналітичних екологічних досліджень для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань. Розроблено систему визначення параметрів робочого середовища, яка проводить автоматичні заміри параметрів повітря робочої зони, реєстрацію та перерахунок показників якості повітряного середовища для приведення їх до нормальних умов.*

***Ключові слова**: сенсорна мережа, мікроконтролер, параметри мікроклімату, передача даних по радіоканалу, координатор мережі, вузол мережі.*

**Вступ**. У сучасному житті полегшення роботи оператора будь-якої складної системи стало нормальним явищем. Будь-який дорогий прилад високої чутливості закордонних виробників має датчики і блоки, які приводять параметри робочого середовища до нормальних умов, прописаних в методиках визначення для кожного шуканого елемента; що робить правдивим кінцевий результат вимірювання. Особливостями таких приладів є: великий рідкокристалічний екран з дисплеєм ідентифікації цілі, простий у використанні інтерфейс меню користувача - вивід графічного зображення всіх визначених параметрів на екран, автоматичний режим балансу параметрів і ручне регулювання балансу повітряного середовища.

**Постановка проблеми.** Для приладів вітчизняного виробника така система визначення параметрів робочого середовища відсутня і тому в будь-якій лабораторії виникає питання щоденних замірів, реєстрації та перерахунків параметрів показників якості повітряного середовища робочої зони для приведення їх до нормальних умов, прописаних в методиках вимірювань.

Дана робота присвячується вирішенню актуальної науково-технічної проблеми - створення системи визначення параметрів робочого середовища, яка проводить автоматичні виміри параметрів повітря робочої зони, реєстрацію та перерахунок показників якості повітряного середовища для приведення їх до нормальних умов.

**Мета статті.** У сучасному світі технічного прогресу виникло гостре питання створення сенсорних мереж для отримання і розрахунку даних параметрів мікроклімату в умовах наявних лабораторій і при наявності вже чинної приладової бази.

Поставлена мета - розробка з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з мікроконтролером (МК) в лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

**Основний текст.** Найважливішими елементами в сенсорній мережі є вузли, які збирають дані з різних датчиків і передають їх на комп'ютер. Не менш важливу роль відіграє і координатор, який керує роботою мережі, зберігає дані про її топологію та служить шлюзом для передачі даних, що збираються всією бездротовою сенсорною мережею для подальшої обробки на комп'ютері. Обидва ці модулі пропонується побудувати на основі бездротового прийомо-передавача XB24-ACI-001 (рис.1). Це малогабаритний модуль стандарту ZigBee/IEEE 802.15.4, призначений для побудови промислових мереж передачі даних.

Управління модулем здійснюється через інтерфейс UART за допомогою AT-команд. У таблиці 1 наведені основні характеристики даного модуля.

Даний модуль підтримує три топології мережі: Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Peer-to-Peer. Це дозволяє реалізувати мережу практично будь-якої складності. Додатково модуль має:

- шість 10-бітних АЦП;
- вісім цифрових каналів вводу/виводу;

– інтерфейс UART;
– API функції для програмування;
– три індикатори станів.

Рис. 1. ZigBee модуль XB24-ACI-001

Таблиця 1

**Основні характеристики XB24-ACI-001**

| Параметри | Значення |
|---|---|
| Радіус дії в приміщенні, м | 30 |
| Радіус дії у вільному просторі, м | 100 |
| Максимальна вихідна потужність, мВт | 1 |
| Швидкість передачі даних по радіоканалу, біт/с | 250000 |
| Швидкість передачі даних по інтерфейсу, біт/с | 1200...115200 |
| Чутливість, дБм | -92 |
| Напруга живлення, В | 2,8...3,4 |
| Струм споживання в режимі передачі, мА | 45 |
| Струм споживання в режимі прийому, мА | 50 |
| Струм споживання в режимі енергозбереження, мкА | 10 |
| Робоча частота, ГГц | 2,4 |
| Кількість каналів | 16 |
| Кількість адрес в мережі | 65000 |
| Розміри, мм | 24,4x27,6 |
| Робочий діапазон температур, °С | -40...85 |

Існує і модуль XBee-PRO, який відрізняється від XBee підвищеною потужністю випромінювання і, відповідно, збільшеним радіусом дії. Модулі випускаються в трьох варіантах - із дротовою антеною, з вбудованою чіп-антеною і з роз'ємом для підключення зовнішньої антени.

Координатор. Складається з ZigBee прийомо-передавача XB24-ACI-001, який має три світлодіоди, що зображають його стан:

– Power – світлодіод, який показує включений модуль чи ні.

– Associate – показує чи встановлений зв'язок кінцевого пристрою з координатором.

– RSSI – показує потужність сигналу, використовуючи широтно-імпульсну модуляцію.

XB24 з'єднується через інтерфейс UART з двонапрямним перетворювачем інтерфейсів FT232, який дає можливість підключити ZigBee модуль за допомогою інтерфейсу USB 2.0 до персонального комп'ютера для обміну даними. FT232 в свою чергу теж має два світлодіодних індикатори:

1. RxLed – індикація даних, які приймаються.
2. TxLed – індикація даних, які передаються.

Перетворювач інтерфейсів FT232 пов'язаний з енергонезалежною EEPROM пам'яттю, яка використовується для зберігання інформації про вузол. Даний вузол не виконує ніяких функцій по обробці даних, тому в ньому відсутні будь-які мікропроцесорні пристрої через їх непотрібність. Схема електрична принципова координатора зображена на рисунку 2. Живлення координатора здійснюється тільки від порту USB, оскільки координатор має споживання струму порядку десятка міліампер і не передбачає подачу на нього напруги живлення більше 5 В.

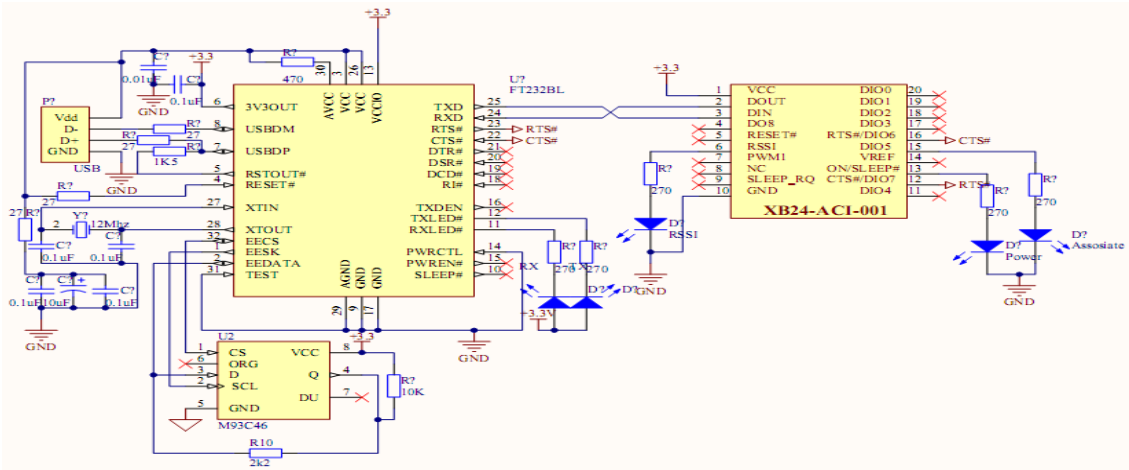



Рис. 2. Координатор. Схема електрична принципова

Вузол. Основним завданням вузла є збір даних від різноманітних датчиків: температури (ДТ), тиску (ДД); відносної вологості повітря (ДВ); освітленості (ДО); напрямку та сили вітру (ДНСВ); радіаційного фону (ДРФ). Структурна схема вузла зображена на рисунку 3.

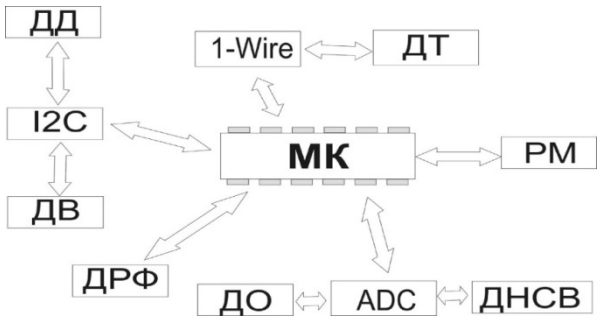



Рис. 3. Вузол. Структурна схема

Вузол виконаний на мікроконтролері сімейства AVR Atmega8, на який покладено функції збору, обробки, прийому та пересилання даних. МК Atmega8 пропонується використовувати в силу його дешевизни, простоти та достатньої конфігурації для реалізації всіх функцій вузла.

У вузлі також є ZigBee прийомо-передавач XB24-ACI-001 з трьома індикаторами. Мікроконтролер Atmega8 з'єднаний через інтерфейс UART з XB24, за допомогою якого і здійснюється обмін інформацією. Живлення модуля проводиться від батарейки «Крона» з напругою 9 В або 12 В. Попри те, що живлення елементів вузла проводиться напругою 3.3 В, така висока напруга на вході потрібна для датчика радіаційного фону СБМ-20. Схема електрична принципова вузла зображена на рисунку 4.

Вимірювання температури. На роль датчика температури пропонується вибрати датчик фірми Dallas Semiconductors DS18B20.

Переваги датчика:

- вимагає всього однієї лінії для обміну даними;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- перетворює значення температури у дванадцяти бітний цифровий вигляд за 750 мс (максимум);
- може працювати як термостат.

Вимірювання тиску. Пропонується використовувати датчик виробника HOPE MICROELECTRONICS HP03M. Даний датчик складається з двох модулів: модуля вимірювання температури й тиску.

Переваги датчика:

- дозвіл перетворювача 16 біт;
- напруга живлення 2.2-3.6 В;
- низьке енергоспоживання;
- діапазон робочих температур -40..+85ºС;
- не вимагає зовнішніх компонентів.

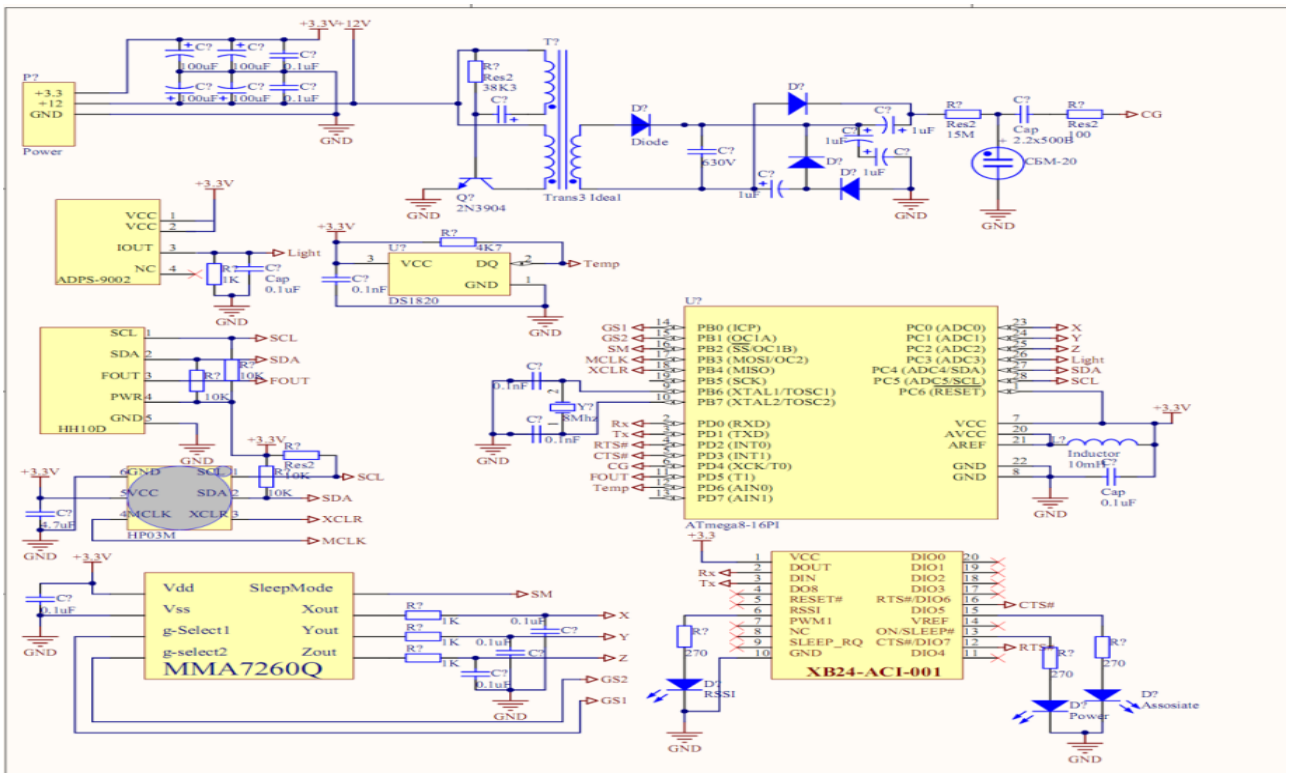



Рис. 4. Вузол. Схема електрична принципова

Вимірювання відносної вологості повітря. Пропонується використовувати датчик вологості HH10D фірми Hope RF.

Переваги датчика:

- дві точки для калібрування датчика;
- частотний вихід датчика легко інтегрується в призначений для користувача пристрій;
- дуже низьке енергоспоживання;
- не вимагає зовнішніх компонентів;
- датчик взаємодіє з МК по шині $I^2C$, використовує для підключення 5 провідників.

Вимірювання освітленості. Пропонується використовувати датчик APDS-9002 фірми Agilen Technologies, який складається зі спектрального фототранзистору, що забезпечує відмінну чутливість, близьку до реакції людського ока.

Переваги датчика:

- гарна чутливість;
- мініатюрний корпус;
- аналоговий вихід;
- стабільна робота від -40 до +85ºС;
- напруження живлення 2.5-5.5 В.

Вимірювання радіаційного фону. Для реєстрації всіх видів випромінювання пропонується використовувати датчик Мюллера-Гейгера СБМ-20, який має характеристики, зображені в таблиці 2.

Таблиця 2

**Характеристики СБМ-20**

| Параметри | Значення |
|---|---|
| Робоча напруга, В | 400 |
| Плато - область малої залежності швидкості рахунку від напруги живлення, В | 100 |
| Власний фон лічильника, імп/с, не більше | 1 |
| Радіаційна чутливість лічильника, імп/мкР (* - по кобальту-60) | 78 |
| Амплітуда вихідного імпульсу, В, не менше | 50 |
| Габарити, мм - діаметр х довжина | 11х108 |

Вимірювання напрямку і швидкості вітру. Датчик напрямку і швидкості вітру був розроблений на основі трьох осьового акселерометра MMA7260. Дані з акселерометра надходять в МК. Там вони обробляються і далі обчислюються такі параметри вітру, як напрям і швидкість. Додаткові лінії даних дають можливість вибрати потрібну чутливість датчика.

Переваги акселерометра:

- мінлива чутливість (1.5g, 2g, 4g,6g);
- маленький струм споживання (500uA);
- струм споживання в сплячому режимі 3 uA;
- напруження живлення 2.2-3.6;
- швидкий запуск;
- низька вартість.

Для візуалізації даних, які зібрані в сенсорній мережі, була розроблена програма візуалізації в C++Builder 6, інтерфейс якої представлений на рисунку 5.

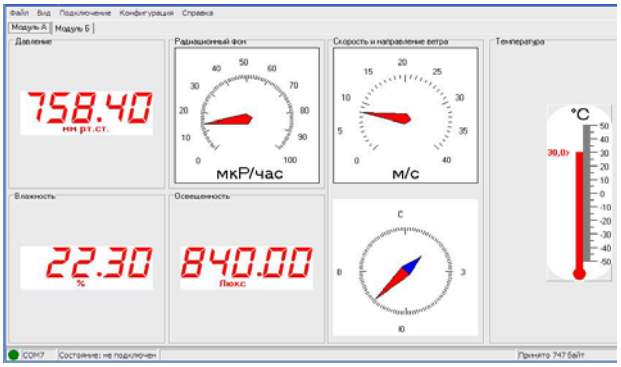



Рис. 5. Інтерфейс користувача

Для створення програми розроблений ряд власних компонентів:

- датчик тиску (показує дані в Па, Бар, Атм, технічна Атм, мм рт.ст., м вод.ст.);
- датчик радіаційного фону (виконується автоматичне перемикання між мР/год и мкР/год);
- датчик вологості (показує відносну вологість в %);
- датчик освітленості (показує освітленість в Люкс);
- датчик параметрів вітру (візуалізує швидкість вітру в м/с, а напрямок вітру вказується червоним кінцем в сторону, куди дує вітер);
- датчик температури (показує дані в K, ºF, ºC).

Всі розроблені датчики здатні візуалізувати дані у двох режимах: цифровому і завдяки стрілок.

**Висновок**.

Система визначення параметрів робочого середовища, яка проводить автоматичні виміри параметрів повітря робочої зони, реєстрацію та перерахунок показників якості повітряного середовища для приведення їх до нормальних умов, вирішує завдання удосконалення параметрів роботи приладів вітчизняного виробника. Даний проект є актуальним і значущим для роботи лабораторії аналітичних екологічних досліджень.

**Література**

1. Соколов М. Программно-аппаратное обеспечение беспроводных сетей на основе технологии ZIGBEE/802.15.4 / М. Соколов // Электронные компоненты. – 2004. − №12. − с.80-87.
2. IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
3. IEEE Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.
4. А.А. Дедюхин «Декодирование и анализ сигналов шин I2C, SPI, RS-232C, RS-422, RS-485 и UART с

использованием осциллографов LeCroy» ЗАО «Прист» 2005.
5. Li, L. Qvs: Quality-aware voice streaming for wireless sensor networks / L. Li, G. Xing, L. Sun, and Y. Liu // Technical Report MSU-CSE-09-9, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, East Lansing, Michigan, March 2009. – 11 p.
6. Александр Калачев Беспроводные приложения: план действий, компоненты Texas Instruments – и вперед!// Новости Электроники, №4, 2011.
7. Н.Е. Клименко, М.В. Сергиевский, С.Н. Сыроежкин, Применение беспроводных сенсорных сетей для оценки состояния критически важных объектов // Труды научной сессии МИФИ-2009, том V.
8. М.В.Сергиевский, С.Н.Сыроежкин, Беспроводные сенсорные сети: эмуляция работы. // КомпьютерПресс, №11, 2008.
9. Levis P., Madden S., Polastre J. and dr. “TinyOS: An operating system for wireless sensor networks” // W. Weber, J.M. Rabaey, E. Aarts (Eds.) // In Ambient Intelligence. – New York, NY: Springer-Verlag, 2005. – 374 p.
10. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/usb/start.
11. htm Интерфейс USB 2.0

**R e f e r e n c e s**

1. Sokolov M. Programmno-apparatnoe obespechenie besprovodnyh setej na osnove tehnologii ZIGBEE/802.15.4 / M. Sokolov // Jelektronnye komponenty. – 2004. − №12. − s.80-87.
2. IEEE 802.15.4. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
3. IEEE Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.
4. A.A. Dedjuhin «Dekodirovanie i analiz signalov shin I2C, SPI, RS-232C, RS-422, RS-485 i UART s ispol'zovaniem oscillografov LeCroy» ZAO «Prist» 2005.
5. Li, L. Qvs: Quality-aware voice streaming for wireless sensor networks / L. Li, G. Xing, L. Sun, and Y. Liu // Technical Report MSU-CSE-09-9, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, East Lansing, Michigan, March 2009. – 11 p.
6. Aleksandr Kalachev Besprovodnyie prilozheniya: plan deystviy, komponentyi Texas Instruments – i vpered!// Novosti Elektroniki, #4, 2011.
7. N.E. Klimenko, M.V. Sergievskiy, S.N. Syiroezh-kin, Primenenie besprovodnyih sensornyih setey dlya otsen-ki sostoyaniya kriticheski vazhnyih ob'ektov // Trudyi nau-chnoy sessii MIFI-2009, tom V.
8. M.V.Sergievskiy, S.N.Syiroezhkin, Besprovodnyie sensornyie seti: emulyatsiya rabotyi. // KompterPress, #11, 2008.
9. Levis P., Madden S., Polastre J. and dr. “TinyOS: An operating system for wireless sensor networks” // W. Weber, J.M. Rabaey, E. Aarts (Eds.) // In Ambient Intelligence. – New York, NY: Springer-Verlag, 2005. – 374 p.
10. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/usb/start.
11. htm Interfeys USB 2.0

**Посохов И.О., Парамонова Т.А., Сафонова С.А. Аппаратно - программный комплекс мониторинга параметров микроклимата закрытых помещений.**

*В статье рассмотрен вопрос о проведении ежедневных замеров, регистрации и перерасчет параметров показателей качества воздушной среды рабочей зоны в лаборатории аналитических экологических исследований для приведения их к нормальным условиям, прописанным в методиках измерений. Разработана система определения параметров рабочей среды, которая производит автоматические замеры параметров воздуха рабочей зоны, регистрацию и перерасчет показателей качества воздушной среды для приведения их к нормальным условиям.*

***Ключевые слова:*** *сенсорная сеть, микроконтроллер, параметры микроклимата, передача данных по радиоканалу, координатор сети, узел сети.*

**Posokhov I.O., Paramonova T.A., Safonova S.O. Hardware and software of monitoring indoor microclimate parameters.**

*The article considers the question of conducting daily measurements, recording and recalculating the parameters of the indicators of the quality of the air environment of the working area in the laboratory of analytical environmental studies to bring them to normal conditions prescribed in the measurement methods. A system has been developed for determining the parameters of the working environment, which makes automatic measurements of the parameters of the air in the working area, register and recalculate the indicators of the quality of the air environment to bring them to normal conditions.*

***Keywords****: sensor network, microcontroller, microclimate parameters, data transmission over the radio channel, network coordinator, network node.*

**Посохов І.О.** – студент групи КІ -17дм, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. ripper404@ukr.net
**Сафонова С.О.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп’ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. safonovasa@ukr.net
**Парамонова Т.А.** – студент групи КН -17дм, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. tanyaparamonova99@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 05.11.2018

УДК: 004.412:519.237.5

# НЕЛІНІЙНЕ РЕГРЕСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВІДКРИТИМ КОДОМ НА PHP

**Приходько Н.В., Приходько С.Б.**

# THE NON-LINEAR REGRESSION EQUATION TO ESTIMATE THE SOFTWARE SIZE OF OPEN SOURCE PHP-BASED INFORMATION SYSTEMS

**Prykhodko N.V., Prykhodko S.B.**

*Нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру програмного забезпечення інформаційних систем з відкритим кодом на PHP побудовано на основі багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства $S_B$. Це рівняння, в порівнянні з іншими регресійними рівняннями, має більший множинний коефіцієнт детермінації, менше значення середньої величини відносної похибки та менші ширини довірчого інтервалу та інтервалу передбачення нелінійної регресії.*

***Ключові слова:*** *нелінійне регресійне рівняння, довірчий інтервал, інтервал передбачення, оцінювання розміру програмного забезпечення, інформаційна система, PHP.*

**Вступ.** Задача оцінювання розміру програмного забезпечення (ПЗ) на ранній стадії його розробки є важливою, оскільки ця інформація використовується для прогнозування трудомісткості розробки ПЗ за допомогою таких моделей як COCOMO II. Це призводить до необхідності розробки відповідних моделей для оцінювання розміру ПЗ, включаючи ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP [1-3].

**Постановка проблеми.** У роботах [1, 2] запропоновано рівняння лінійної регресії для оцінювання розміру ПЗ інформаційних системи, що розробляються на базі певних мов програмування, включаючи PHP. Запропоновані рівняння побудовано за допомогою множинного лінійного регресійного аналізу на основі метрик діаграми класів. Проте існують чотири основні припущення, які виправдовують використання моделей лінійної регресії, одним з яких є нормальність розподілу помилок. Але це припущення справедливе лише в окремих випадках. Це призводить до необхідності використання нелінійних регресійних моделей та рівнянь, в тому числі для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нормалізуючі перетворення дуже часто є добрим способом побудови нелінійних регресійних моделей та рівнянь [3-9]. Однак добре відомі методи їх побудови, що засновані на одновимірних нормалізуючих перетвореннях (таких як логарифмічне і Бокса-Кокса), не враховують кореляції між випадковими змінними у разі нормалізації багатовимірних негаусових даних. Це призводить до необхідності використання багатовимірних нормалізуючих перетворень [3], які враховують цю кореляцію, для побудови нелінійних регресійних моделей та рівнянь для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем, в тому числі з відкритим кодом на PHP. В [3] було побудовано нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP на основі багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства $S_B$. Але для побудови цього рівняння були використані дані всього з 32 інформаційних систем, кількість яких фактично межує з малою вибіркою. Тому виникає потреба у побудови відповідного рівняння з більшою кількістю даних.

**Мета статті** – побудова нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP на основі багатовимірного нормалізуючого перетворення, яке б в порівнянні з іншими рівняннями мало більший множинний коефіцієнт детермінації, менше значення середньої величини відносної похибки і менші ширини довірчого інтервалу та інтервалу передбачення регресії.

**Виклад основного матеріалу.** Як і в [3], побудову нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP здійснюємо за допомогою бієктивного багатовимірного нормалізуючого перетворення негаусового випадкового вектора $\mathbf{P} = \{Y, X_1, X_2, \ldots, X_k\}^T$ у гаусовий випадковий вектор $\mathbf{T} = \{Z_Y, Z_1, Z_2, \ldots, Z_k\}^T$

$$\mathbf{T} = \boldsymbol{\psi}(\mathbf{P}), \quad (1)$$

і зворотного перетворення для (1)

$$\mathbf{P} = \boldsymbol{\psi}^{-1}(\mathbf{T}). \quad (2)$$

Для цього спочатку виконуємо нормалізацію багатовимірних негаусових даних за (1). Далі за нормалізованими даними будуємо лінійне регресійне рівняння

$$\hat{Z}_Y = \overline{Z}_Y + \left(\mathbf{Z}_X^+\right)\hat{\mathbf{b}}, \quad (3)$$

де $\hat{Z}_Y$ – результат передбачення за лінійним регресійним рівнянням для значень компонент вектору $\mathbf{z}_X = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_k\}$; $\mathbf{Z}_X^+$ – матриця центрованих регресорів $Z_{1_i} - \overline{Z}_1$, $Z_{2_i} - \overline{Z}_2$, …, $Z_{k_i} - \overline{Z}_k$; $\hat{\mathbf{b}}$ – оцінка для вектору параметрів лінійного регресійного рівняння, $\mathbf{b} = \{b_1, b_2, \ldots, b_k\}^T$.

Після цього за (1)-(3) будуємо нелінійне регресійне рівняння

$$\hat{Y} = \psi_Y^{-1}\left[\overline{Z}_Y + \left(\mathbf{Z}_X^+\right)\hat{\mathbf{b}}\right], \quad (4)$$

довірчий інтервал

$$\psi_Y^{-1}\left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2,\nu} S_{Z_Y}\left\{\frac{1}{N} + \left(\mathbf{z}_X^+\right)^T\left[\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T\mathbf{Z}_X^+\right]^{-1}\left(\mathbf{z}_X^+\right)\right\}^{1/2}\right) \quad (5)$$

та інтервал передбачення нелінійної регресії

$$\psi_Y^{-1}\left(\hat{Z}_Y \pm t_{\alpha/2,\nu} S_{Z_Y}\left\{1 + \frac{1}{N} + \left(\mathbf{z}_X^+\right)^T\left[\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T\mathbf{Z}_X^+\right]^{-1}\left(\mathbf{z}_X^+\right)\right\}^{1/2}\right) \quad (6)$$

Тут $S_{Z_Y}^2 = \frac{1}{\nu}\sum_{i=1}^{N}\left(Z_{Y_i} - \hat{Z}_{Y_i}\right)^2$, $\nu = N - k - 1$; $\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T\mathbf{Z}_X^+$ – $k \times k$ матриця

$$\left(\mathbf{Z}_X^+\right)^T\mathbf{Z}_X^+ = \begin{pmatrix} S_{Z_1Z_1} & S_{Z_1Z_2} & \ldots & S_{Z_1Z_k} \\ S_{Z_1Z_2} & S_{Z_2Z_2} & \ldots & S_{Z_2Z_k} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ S_{Z_1Z_k} & S_{Z_2Z_k} & \ldots & S_{Z_kZ_k} \end{pmatrix},$$

де $S_{Z_qZ_r} = \sum_{i=1}^{N}\left[Z_{q_i} - \overline{Z}_q\right]\left[Z_{r_i} - \overline{Z}_r\right]$, $q, r = 1,2,\ldots,k$.

Для побудови нелінійного регресійного рівняння використовуємо вибірку чотиривимірних негаусових даних з [1]: фактичний розмір ПЗ в тисячах рядків коду (KLOC) $Y$, загальна кількість класів $X_1$, загальна кількість зв'язків $X_2$ та середня кількість атрибутів на клас $X_3$ у концептуальній моделі даних з 54 інформаційних систем з відкритим кодом на PHP. Ця вибірка даних наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вибірка чотиривимірних негаусових даних**

| № | $Y$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | № | $Y$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 22,599 | 17 | 7 | 7 | 28 | 8,947 | 15 | 5 | 4 |
| 2 | 32,243 | 21 | 13 | 4,524 | 29 | 9,47 | 8 | 5 | 5 |
| 3 | 16,164 | 13 | 11 | 7,077 | 30 | 19,381 | 10 | 10 | 5,8 |
| 4 | 83,862 | 35 | 24 | 6,571 | 31 | 4,219 | 6 | 2 | 8 |
| 5 | 24,22 | 13 | 9 | 8,077 | 32 | 65,649 | 34 | 12 | 7,912 |
| 6 | 63,929 | 35 | 19 | 8,029 | 33 | 12,443 | 9 | 6 | 6,222 |
| 7 | 6,697 | 5 | 5 | 7 | 34 | 3,856 | 5 | 2 | 11,6 |
| 8 | 55,537 | 25 | 14 | 8,64 | 35 | 10,225 | 6 | 4 | 11,333 |
| 9 | 55,752 | 39 | 10 | 9,077 | 36 | 47,734 | 19 | 13 | 8,053 |
| 10 | 62,602 | 30 | 17 | 7 | 37 | 4,554 | 4 | 5 | 8,5 |
| 11 | 67,111 | 23 | 22 | 14,957 | 38 | 16,846 | 9 | 8 | 6,333 |
| 12 | 2,552 | 3 | 1 | 8,333 | 39 | 33,645 | 16 | 15 | 5,438 |
| 13 | 12,17 | 10 | 5 | 3,7 | 40 | 6,532 | 6 | 5 | 6,167 |
| 14 | 12,757 | 13 | 9 | 5 | 41 | 16,006 | 6 | 9 | 8,667 |
| 15 | 5,695 | 7 | 3 | 8,429 | 42 | 10,507 | 6 | 4 | 9,333 |
| 16 | 11,054 | 9 | 9 | 3,667 | 43 | 7,607 | 5 | 5 | 10,2 |
| 17 | 29,77 | 17 | 15 | 3,412 | 44 | 15,875 | 11 | 7 | 6,455 |
| 18 | 11,653 | 9 | 8 | 8,778 | 45 | 57,643 | 30 | 23 | 9,533 |
| 19 | 6,847 | 5 | 4 | 3,6 | 46 | 9,452 | 10 | 4 | 6,6 |
| 20 | 13,389 | 7 | 5 | 11,714 | 47 | 10,81 | 10 | 6 | 6,5 |
| 21 | 14,45 | 12 | 6 | 16,583 | 48 | 38,781 | 20 | 14 | 10,1 |
| 22 | 4,414 | 6 | 3 | 3,667 | 49 | 6,118 | 6 | 3 | 13,333 |
| 23 | 2,102 | 3 | 1 | 3,333 | 50 | 24,227 | 14 | 10 | 4,643 |
| 24 | 42,819 | 20 | 18 | 3,5 | 51 | 23,457 | 15 | 9 | 5,8 |
| 25 | 4,077 | 4 | 2 | 9 | 52 | 22,475 | 11 | 10 | 12,818 |
| 26 | 57,408 | 33 | 14 | 9,242 | 53 | 8,59 | 6 | 5 | 7,833 |
| 27 | 7,428 | 7 | 3 | 7 | 54 | 11,724 | 10 | 3 | 9,6 |

Зазначимо, що ці 54 інформаційні системи були відібрані наступним чином. Спочатку ми поєднали дані з 32 систем, за якими будувалися регресійні рівняння в [1-3], з даними 31 системи, що використовувалися в [1] для перевірки лінійного регресійного рівняння. Потім ці об'єднані дані були перевірені на наявність викидів за [10] за допомогою квадрату відстані Махаланобісу (MD) та багатомірного перетворення Джонсона для рівня значимості 0,005. За результатами цієї перевірки

спочатку були відкинути дані системи Webaddressbook [1] $Y = 8{,}363$, $X_1 = 3$, $X_2 = 2$, $X_3 = 20$ тому, що для цих даних квадрат MD дорівнює 15,79 і є більшим ніж значення квантіля розподілу $\chi^2$, яке становить 14,86 для рівня значимості 0,005. Далі були відкинути дані ще 8 систем: 4 систем (Bannerex3a, Jdcms, Phpalumni, Phpcollegeex) з вибірки, за якою будувалося лінійне регресійне рівняння в [1], та 4 систем (Core, Phpollster, Phpsera, Supersurf) з набору даних, що використовувався в [1] для перевірки цього рівняння.

Для нормалізації багатомірних негаусовських даних з таблиці 1 ми використовуємо одномірне і багатомірне перетворення Джонсона для сімейства $S_B$. У нашому випадку перетворення Джонсона має вигляд [3]

$$\mathbf{T} = \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\eta}\mathbf{h}\left[\boldsymbol{\lambda}^{-1}(\mathbf{P} - \varphi)\right] \sim N_m(\mathbf{0}_m, \boldsymbol{\Sigma}), \qquad (7)$$

де $\mathbf{h}[(y_Y, y_1, \ldots, y_k)] = \{h_Y(y_Y), h_1(y_1), \ldots, h_k(y_k)\}^T$; $h_i(\cdot)$ – одна з функцій

$$h = \begin{cases} \ln(y), & \text{для } S_L \text{ сімейства}; \\ \ln[y/(1-y)], & \text{для } S_B \text{ сімейства}; \\ \mathrm{Arsh}(y), & \text{для } S_U \text{ сімейства}; \\ y & \text{для } S_N \text{ сімейства}. \end{cases} \qquad (8)$$

В (8) $y = (X - \varphi)/\lambda$; $\mathrm{Arsh}(y) = \ln\left(y + \sqrt{y^2 + 1}\right)$.

У нашому випадку $X$ дорівнює $Y$, $X_1$, $X_2$ або $X_3$ відповідно.

Параметри одновимірного і багатовимірного перетворень Джонсона для сімейства $S_B$ оцінювалися методом максимальної правдоподібності. Оцінки параметрів багатовимірного перетворення Джонсона такі: $\hat{\gamma}_Y = 1{,}37544$, $\hat{\gamma}_1 = 1{,}33853$, $\hat{\gamma}_2 = 1{,}48264$, $\hat{\gamma}_3 = 1{,}20188$, $\hat{\eta}_Y = 0{,}69574$, $\hat{\eta}_1 = 0{,}79617$, $\hat{\eta}_2 = 0{,}98754$, $\hat{\eta}_3 = 1{,}0550$, $\hat{\varphi}_Y = 1{,}8525$, $\hat{\varphi}_1 = 2{,}5748$, $\hat{\varphi}_2 = 0{,}32355$, $\hat{\varphi}_3 = 2{,}5737$, $\hat{\lambda}_Y = 110{,}623$, $\hat{\lambda}_1 = 51{,}022$, $\hat{\lambda}_2 = 36{,}891$ і $\hat{\lambda}_3 = 18{,}319$. Вибіркова коваріаційна матриця $\mathbf{S}_N$ використовується в якості оцінки $\boldsymbol{\Sigma}$

$$\mathbf{S}_N = \begin{pmatrix} 1{,}0000 & 0.9539 & 0{,}9370 & 0{,}1467 \\ 0.9539 & 1{,}0000 & 0{,}8629 & 0{,}1467 \\ 0{,}9370 & 0{,}8629 & 1{,}0000 & 0{,}0607 \\ 0{,}1467 & 0.3795 & 0{,}0607 & 1{,}0000 \end{pmatrix}.$$

Оцінки параметрів для одновимірних перетворень Джонсона є такими: $\hat{\gamma}_Y = 1{,}05761$, $\hat{\gamma}_1 = 0{,}91563$, $\hat{\gamma}_2 = 0{,}95393$, $\hat{\gamma}_3 = 0{,}99748$, $\hat{\eta}_Y = 0{,}63815$, $\hat{\eta}_1 = 0{,}67954$, $\hat{\eta}_2 = 0{,}84111$, $\hat{\eta}_3 = 0{,}98946$, $\hat{\varphi}_Y = 1{,}8379$, $\hat{\varphi}_1 = 2{,}7147$, $\hat{\varphi}_2 = 0{,}48957$, $\hat{\varphi}_3 = 2{,}6251$, $\hat{\lambda}_Y = 89{,}201$, $\hat{\lambda}_1 = 39{,}930$, $\hat{\lambda}_2 = 27{,}843$ і $\hat{\lambda}_3 = 16{,}590$.

Далі за нормалізованими даними будуємо лінійне регресійне рівняння (3)

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_1 + \hat{b}_2 Z_2 + \hat{b}_3 Z_3. \qquad (9)$$

Параметри рівняння (9) оцінювалися методом найменших квадратів. Оцінки параметрів рівняння (9) для багатовимірного перетворення Джонсона такі: $\hat{b}_0 = 0$, $\hat{b}_1 = 0{,}51856$, $\hat{b}_2 = 0{,}48715$, $\hat{b}_3 = 0{,}10416$, а для одновимірного перетворення Джонсона: $\hat{b}_0 = 0$, $\hat{b}_1 = 0{,}50321$, $\hat{b}_2 = 0{,}50562$, $\hat{b}_3 = 0{,}09039$. Сума квадратів відхилень для рівняння (9) складає 2,343 у разі одновимірного перетворення Джонсона і 2,057 для багатовимірного перетворення Джонсона. Нелінійне регресійне рівняння (4) за перетворенням (7) сімейства $S_B$ має вигляд

$$\hat{Y} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y\left[1 + e^{-\left(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y\right)/\hat{\eta}_Y}\right]^{-1}, \qquad (10)$$

де $Z_j = \gamma_j + \eta_j \ln\dfrac{X_j - \varphi_j}{\varphi_j + \lambda_j - X_j}$, $\varphi_j < X_j < \varphi_j + \lambda_j$, $j = 1,2,3$.

Також було побудовано лінійне регресійне рівняння

$$\hat{Y} = -12{,}575 + 1{,}3682X_1 + 1{,}4529X_2 + 0{,}60411X_3. \qquad (11)$$

Значення множинного коефіцієнту детермінації $R^2$ і середньої величини відносної помилки MMRE, які дорівнюють 0,9582 і 0,1501 відповідно, кращі для рівняння (10) з параметрами для багатовимірного перетворення Джонсона в порівнянні з одновимірним, для якого ці значення складають відповідно 0,9576 і 0,1527. Значення відсотка прогнозування PRED(0,25), що дорівнює 0,8519, краще для рівняння (10) з параметрами для одновимірного перетворення Джонсона в порівнянні з багатовимірним, для якого це значення складає 0,8333. Також значення $R^2$, MMRE і PRED(0,25) кращі для нелінійного рівняння (10) в порівнянні з лінійним рівнянням (11), для якого ці значення дорівнюють відповідно 0,9508, 0,2882 і 0,7407.

Але основна перевага нелінійного рівняння (10) з параметрами для багатовимірного перетворення Джонсона полягає в менших ширинах довірчого інтервалу та інтервалу передбачення. Були визначені нижні (LB) і верхні (UB) межі інтервалів передбачення нелінійних регресій за формулою (6) на основі відповідно одновимірного і багатовимірного перетворень Джонсона та лінійної регресії для рівня значимості 0,05. Ці межі для 27 інформаційних систем наведені у таблиці 2. Зауважимо, що нижня межа інтервалу передбачення лінійної регресії має від'ємні значення для 18 рядків даних: 7, 12, 15, 19, 22, 23, 25, 27, 29, 31, 34, 35, 37, 40, 42, 43, 49, 53. Всі значення нижньої межі інтервалу передбачення нелінійних регресій на основі перетворень Джонсона є додатними.

Таблиця 2

**Межі інтервалів передбачення різних регресій**

| № | лінійна регресія | | нелінійна регресія за перетворенням Джонсона | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | одномірне | | багатомірне | |
| | LB | UB | LB | UB | LB | UB |
| 1 | 15,218 | 34,948 | 12,651 | 33,605 | 13,529 | 32,937 |
| 2 | 27,852 | 47,703 | 21,704 | 49,737 | 22,282 | 49,425 |
| 3 | 15,646 | 35,29 | 14,819 | 37,881 | 15,505 | 36,819 |
| 4 | 63,743 | 84,558 | 66,610 | 83,757 | 61,496 | 90,304 |
| 5 | 13,400 | 32,933 | 13,037 | 34,189 | 13,825 | 33,267 |
| 6 | 57,555 | 77,979 | 54,775 | 78,365 | 52,816 | 83,973 |
| 7 | -4,079 | 15,597 | 4,514 | 11,732 | 4,636 | 10,613 |
| 8 | 37,290 | 57,089 | 30,902 | 60,726 | 32,012 | 63,123 |
| 9 | 49,499 | 72,096 | 44,445 | 74,424 | 39,141 | 73,790 |
| 10 | 47,362 | 67,435 | 41,557 | 70,095 | 41,351 | 73,693 |
| 11 | 48,919 | 70,866 | 50,753 | 77,166 | 49,570 | 82,635 |
| 12 | -11,904 | 7,937 | 2,027 | 2,644 | 2,100 | 2,714 |
| 13 | 0,647 | 20,566 | 5,993 | 16,775 | 6,244 | 15,426 |
| 14 | 11,472 | 31,144 | 11,614 | 31,216 | 12,163 | 29,786 |
| 15 | -3,400 | 16,306 | 4,459 | 11,534 | 4,683 | 10,727 |
| 16 | 5,039 | 25,02 | 8,172 | 23,221 | 8,361 | 21,202 |
| 17 | 24,411 | 44,666 | 18,982 | 46,535 | 18,941 | 44,657 |
| 18 | 6,846 | 26,483 | 9,487 | 26,122 | 9,969 | 24,708 |
| 19 | -7,741 | 12,245 | 3,557 | 8,559 | 3,619 | 7,649 |
| 20 | 1,364 | 21,322 | 6,315 | 17,546 | 6,648 | 16,339 |
| 21 | 11,997 | 33,16 | 11,499 | 32,523 | 12,320 | 31,367 |
| 22 | -7,794 | 12,21 | 3,505 | 8,365 | 3,599 | 7,580 |
| 23 | -15,102 | 5,094 | 1,969 | 2,421 | 2,020 | 2,459 |
| 24 | 32,777 | 53,333 | 26,524 | 57,118 | 25,649 | 55,809 |
| 25 | -8,658 | 11,139 | 2,783 | 5,576 | 2,873 | 5,210 |
| 26 | 48,216 | 68,782 | 41,241 | 70,237 | 41,184 | 73,958 |
| 27 | -4,261 | 15,44 | 4,320 | 11,045 | 4,521 | 10,234 |

Ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі багатовимірного перетворення Джонсона менша, ніж після одновимірного перетворення Джонсона для 44 рядків даних (1-3, 5, 7, 12-25, 27-31, 33-44, 46, 47, 49-54) та менша, ніж для лінійної регресій для 36 рядків даних: 1, 5, 7, 12-16, 18-23, 25, 27-31, 33-35, 37, 38, 40-44, 46, 47, 49, 50, 53, 54. Приблизно такі ж результати маємо для довірчих інтервалів за формулою (5).

**Висновки.** Удосконалено нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP на основі багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства $S_B$. Це рівняння в порівнянні з іншими регресійними рівняннями має більший множинний коефіцієнт детермінації, менше значення середньої величини відносної похибки та менші ширини довірчого інтервалу і інтервалу передбачення для більшої кількості значень незалежних змінних. Надалі планується застосування інших даних для побудови нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на PHP.

**Література**


1. Tan H.B.K. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models / H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang // Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE '06), Shanghai, China, May 20-28, 2006. – P. 321-330.
2. Tan H.B.K. Conceptual data model-based software size estimation for information systems / H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang // Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2009. – Vol. 19. – Issue 2. – October 2009. – Article No. 4. DOI: 10.1145/1134285.1134331
3. Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHP-based information systems / S. B. Prykhodko, N. V. Prykhodko, T. G. Smykodub, A. V. Spinov // Проблеми інформаційних технологій. – 2018. – № 1 (023). – С.118-125. – ISSN 1998-7005
4. Bates D.M. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications / D. M. Bates, D. G. Watts. – New York: John Wiley & Sons, 1988. – 384 p.
5. Seber G.A.F. Nonlinear Regression / G. A. F. Seber, C. J. Wild. – New York: John Wiley & Sons, 1989. – 768 p.
6. Ryan T.P. Modern regression methods / T. P. Ryan. – New York: John Wiley & Sons, 1997. – 529 p.
7. Drapper N.R. Applied Regression Analysis / N. R. Drapper, H. Smith. – New York: John Wiley & Sons, 1998. – 736 p.
8. Johnson R.A. Applied Multivariate Statistical Analysis / R. A. Johnson, D. W. Wichern. – Pearson Prentice Hall, 2007. – 800 p.
9. Chatterjee S. Handbook of Regression Analysis / S. Chatterjee, J. S. Simonoff. – New York: John Wiley & Sons, 2013. – 252 p.
10. Prykhodko S. Application of the Squared Mahalanobis Distance for Detecting Outliers in Multivariate Non-Gaussian Data / S. Prykhodko, N. Prykhodko, L. Makarova, A. Pukhalevych // Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 20–24, 2018. – P. 962-965. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336353

11. Mardia K.V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications / K. V. Mardia // Biometrika. – 57. – 1970. – P. 519–530. DOI: 10.1093/biomet/57.3.519

**R e f e r e n c e s**

1. Tan H.B.K. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models / H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang // Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE '06), Shanghai, China, May 20-28, 2006. – P. 321-330.
2. Tan H.B.K. Conceptual data model-based software size estimation for information systems / H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang // Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2009. – Vol. 19. – Issue 2. – October 2009. – Article No. 4. DOI: 10.1145/1134285.1134331
3. Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHP-based information systems / S. B. Prykhodko, N. V. Prykhodko, T. G. Smykodub, A. V. Spinov // Problems of information technologies. – 2018. – No. 1 (023). – P.118-125. – ISSN 1998-7005
4. Bates D.M. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications / D. M. Bates, D. G. Watts. – New York: John Wiley & Sons, 1988. – 384 p.
5. Seber G.A.F. Nonlinear Regression / G. A. F. Seber, C. J. Wild. – New York: John Wiley & Sons, 1989. – 768 p.
6. Ryan T.P. Modern regression methods / T. P. Ryan. – New York: John Wiley & Sons, 1997. – 529 p.
7. Drapper N.R. Applied Regression Analysis / N. R. Drapper, H. Smith. – New York: John Wiley & Sons, 1998. – 736 p.
8. Johnson R.A. Applied Multivariate Statistical Analysis / R. A. Johnson, D. W. Wichern. – Pearson Prentice Hall, 2007. – 800 p.
9. Chatterjee S. Handbook of Regression Analysis / S. Chatterjee, J. S. Simonoff. – New York: John Wiley & Sons, 2013. – 252 p.
10. Prykhodko S. Application of the Squared Mahalanobis Distance for Detecting Outliers in Multivariate Non-Gaussian Data / S. Prykhodko, N. Prykhodko, L. Makarova, A. Pukhalevych // Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 20–24, 2018. – P. 962-965. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336353

11. Mardia K.V. Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications / K. V. Mardia // Biometrika. – 57. – 1970. – P. 519–530. DOI: 10.1093/biomet/57.3.519

**Приходько Н.В., Приходько С.Б. Нелинейное регрессионное уравнение для оценки размера программного обеспечения информационных систем с открытым кодом на PHP.**

*Нелинейное регрессионное уравнение для оценки размера программного обеспечения информационных систем с открытым кодом на PHP построено на основе многомерного преобразования Джонсона для семейства $S_B$. Это уравнение, по сравнению с другими регрессионными уравнениями, имеет больший множественный коэффициент детерминации, меньшее значение средней величины относительной погрешности, меньшие ширины доверительного интервала и интервала предсказания нелинейной регрессии.*

***Ключевые слова:*** *нелинейное регрессионное уравнение, доверительный интервал, интервал предсказания, оценки размера программного обеспечения, информационная система, PHP.*

**Prykhodko N.V., Prykhodko S.B. The non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHP-based information systems.**

*The non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHP-based information systems is constructed on the basis of the Johnson multivariate transformation for $S_B$ family. This equation, in comparison with other regression equations, has a larger multiple coefficient of determination, a smaller value of the mean magnitude of relative error, smaller widths of the confidence and prediction intervals of non-linear regression.*

***Keywords:*** *nonlinear regression equation, confidence interval, prediction interval, estimation of software size, information system, PHP.*

**Приходько Н.В.** – к.е.н., доцент, доцент кафедри фінансів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, e-mail: natalia.prykhodko@nuos.edu.ua
**Приходько С.Б.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, e-mail: sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua

*Рецензент:* д.е.н., проф. ***Д'яченко Ю.Ю.***

Стаття подана 27.10.2018

УДК: 004.896

# ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Рубан В.Р., Шумова Л.О.**

# ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS SAFETY BASED ON TIME-SERIES ANALYSIS BY MEANS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Ruban V.R., Shumova L.O.**

*Розроблена інформаційна технологія прогнозування критичного стану контрольованого технологічного процесу на основі методів кластеризації з використанням радіально-базисних нейронних мереж (RBFN), які вибрані на основі попереднього аналізу і виділені їх переважні особливості. Побудована модель у вигляді RBFN, проведено вчення на основі технологічних показників. Для побудови нейромережи використався програмний симулятор Neural Network Toolbox MATLAB 6.5, який рекомендується використати для моделювання персептронів з різним типом функцій активації. Проведено обчислювальний експеримент, дані практичні рекомендації для використання розробленої моделі для виконання технологічного процесу. Реалізація побудованої моделі на додаток до класичних засобів утримання процесу в рамках штатної ситуації дає особі, що приймає рішення, новий інструмент для запобігання виходу процесу в нештатну ситуацію, що підвищує безпеку потенційно небезпечних систем.*

***Ключові слова:*** *кластер, нейромережа, прогнозування, часовий ряд, математична модель, штучний інтелект, симулятор.*

**Вступ.** Завдання прогнозування критичних станів небезпечних процесів за результатами спостережень займають одне з головних місць в сучасній теорії управління та прийняття рішень [1]. Складність вирішення цих завдань обумовлено унікальністю процесів та передісторії їх критичних станів. Найбільш ефективно такі задачі вирішуються засобами штучного інтелекту, що сьогодні сформувався вже ні як один з напрямків інформаційних технологій, а як галузь досліджень і розробок інтелектуальних систем, призначених для роботи в областях діяльності, які важко формалізувати [2-3].

Ті моделі, за допомогою яких можна прогнозувати майбутній розвиток процесів і які використають часові ряди, є найбільш ефективними математичними моделями [4].

Завдання прогнозування динаміки різних показників зводиться до завдання прогнозування часових рядів. При прогнозуванні часового ряду необхідно визначити, скільки попередніх значень однієї змінної взяти і як далеко вперед прогнозувати значення вихідної змінної. Спостереження повинні бути впорядковані в часі, оскільки їхній порядок має значення.

**Мета роботи.** Зараз існує велика кількість процесів, які не можуть бути описані за допомогою традиційних статистичних моделей за наявності їх нелінійності та квазіперіодічності. Одним з таких процесів діяльності можна вважати технологічний процес виробництва аміаку.

Метою роботи є вдосконалення засобів автоматизованого управління технологічним процесом на основі побудови математичних моделей для прогнозування критичного стану контрольованого процесу.

Об'єктом дослідження є приховані в емпіричних даних закономірності, що показують внутрішню структуру процесу. Дослідження проведені стосовно до технологічного процесу виробництва аміаку на основі даних, які відповідають нормальному і передаварійному режимам.

Предметом дослідження є методи та моделі прогнозування аварійних ситуацій на основі емпіричних даних засобами штучного інтелекту.

**Математична модель.** Завдання побудови моделі для розпізнавання стану об'єкта на основі часових рядів значень спостережуваних параметрів доцільно вирішити за допомогою штучної нейронної мережі [5]. Нейронні мережі дозволяють створювати адаптивні моделі для прогнозування та розпізнавання.

Важливим завданням нейромережного моделювання є вибір архітектури нейронної мережі, яку визначають: вид нейронної мережі, алгоритм її навчання, кількість нейронів і характер зв'язку між ними. Труднощі її рішення полягають у відсутності формалізованого уявлення і закінченого обґрунтування.

Для прогнозування часових рядів часто використовуються багатошарові персептрони. Застосування мереж зі зворотними зв'язками для даної задачі недоцільно, що пов'язано з труднощами навчання і короткостроковою пам'яттю таких мереж. Для вирішення завдань класифікації та кластеризації даних доцільно використовувати ідеї, що покладені в основу радіально-базисних нейронних мереж (RBFN) [6]. Переважні особливості RBFN полягають в наступному:

– нема потреби у великій кількості прихованих шарів, досить тільки одного прихованого шару;

– нейрони прихованого шару мають радіальний тип активаційної функції;

– вихідний шар складається з одного або декількох лінійних нейронів;

– на відміну від багатьох додатків, де працюють мережі з лінійними нейронами, RBF реалізують інші методи обробки даних, що забезпечує спрощення та прискорення навчання.

На рисунку 1 представлена структурна схема нейронної мережі з радіально-базисними функціями.

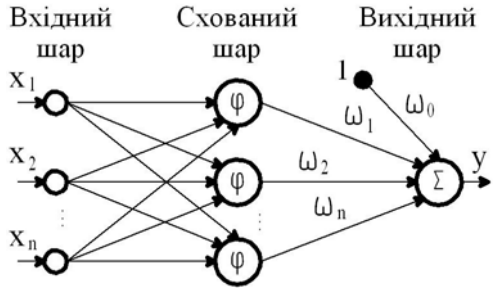



Рис. 1. Нейронна мережа з радіально-базисними функціями

У RBF мережі нейрони здійснюють функції (1), що радіально змінюються близько обраного центра й приймають ненульові значення тільки навколо цього центра.

$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c\|) \qquad (1)$$

Функції нейрона в таких мережах полягають у відображенні радіального простору навколо заданого центру або близько згустку таких центрів, що складають кластер. Суперпозиція сигналів, що приходять від усіх таких нейронів, дозволяє сформувати образ всього багатовимірного простору.

Функціонування радіальних мереж математично засноване на теоремі Т. Ковера. Згідно з цією теоремою, нелінійні проекції образів у будь-який багатомірний простір можуть бути лінійно розділені з більшою ймовірністю, чим при їхній проекції в простір з меншою розмірністю.

Як правило, кількість вибірок досить велика, що надмірно підвищує обчислювальну складність алгоритму навчання. Тому пошук оптимального рішення здійснюється в просторі меншої розмірності, що є досить адекватною апроксимацією точного рішення.

Якщо обмежитися К базисними функціями, то апроксимаційне рішення можна подати у вигляді (2).

$$F(x) = f_1 + f_2 + ,...,+ f_{K,} \qquad (2)$$

де $f_i = \omega_i \phi(\|x - c_i\|), K < p, à\, c_i, i = 1,2,..., K$ - безліч центрів, які необхідно визначити; p – кількість навчальних вибірок.

Якщо прийняти $K = p$, можна отримати точне рішення $c_i = x_i$.

Найчастіше радіальна функція являє собою функцію Гауса. При розміщенні її центра в крапці $c_i$ вона може бути визначена в скороченій формі як

$$\varphi(x) = \varphi(\|x - c_i\|) = e^{-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}} \qquad (3)$$

де $\sigma_i$ - параметр, від значення якого залежить ширина функції.

Вага $\omega_0$ представляє поріг, що вводить показник постійного зсуву функції.

**Дослідження нейронної мережі.** Після визначення структури нейромережі побудована модель у вигляді RBFN, проведено вчення на основі технологічних показників.

У роботі для побудови нейромережи використався програмний симулятор Neural Network Toolbox MATLAB 6.5 [7]. Даний пакет рекомендується використати для моделювання персептронів з різним типом функцій активації.

При дослідженні технологічних параметрів процесу використовувались наступні вхідні дані, які представлені на рис. 2.

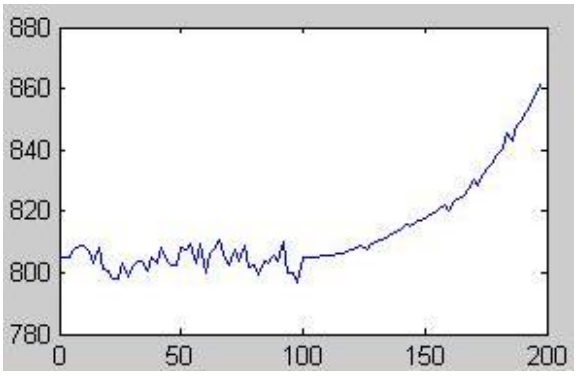



Рис. 2. Дані для дослідження

У результаті роботи програмного симулятора була побудована нейронна мережа прямого поширення на основі персептронів із двома сигмоїдними нейронами скритого шару й одним нейроном вихідного шару. Структура цієї мережі представлена на рис. 3.

Рішення даного рівняння являє собою апроксимаційну функцію в багатомірному просторі у формі зваженої суми локальних базисних радіальних функцій. Це мережа із двошаровою структурою, у якій тільки схований шар виконує нелінійне відображення, що реалізується нейронами з базисними радіальними функціями. Вихідний нейрон, зазвичай, має лінійну структуру, а його суть являє зважене підсумовування сигналів, що надходять від нейронів схованого шару. Вага $\omega_0$ представляє поляризацію, що вводить показник постійного зсуву функції.

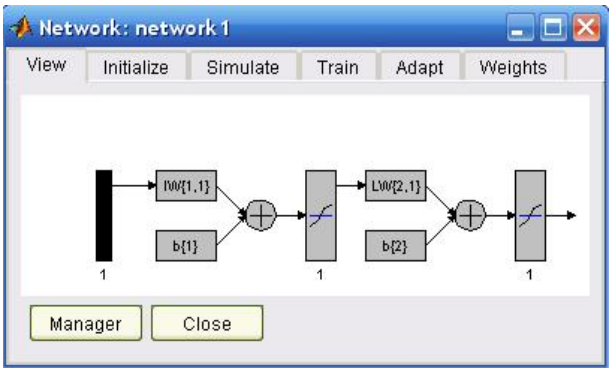



Рис. 3. Структура радіально-базисної мережі

Після тренування мережі було побудовано графік прогнозованих значень, який представлено на рис.4 (червоним кольором).

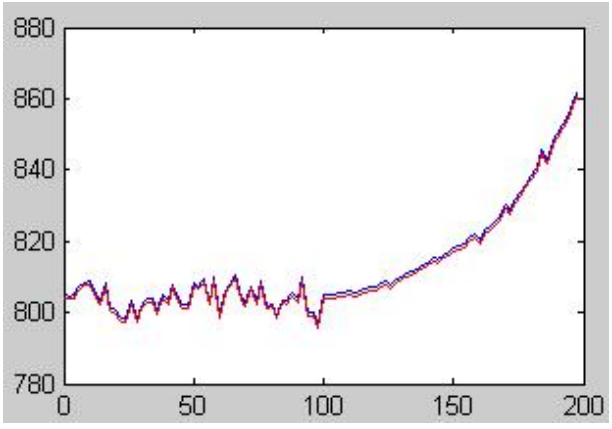



Рис. 4. Вхідні та прогнозовані дані

Використовуючи програмні засоби пакету MATLAB було зроблено апроксимацію побудованої нейромережі, яка представлена на рис. 5.

Попередня обробка часового ряду полягає у нормуванні значень контрольованого технологічного параметра та перетворення одновимірного ряду в багатовимірний за допомогою однопараметричної зсувної процедури (метод аналізу і прогнозу часових рядів Singular Spectrum Analysis [8]).

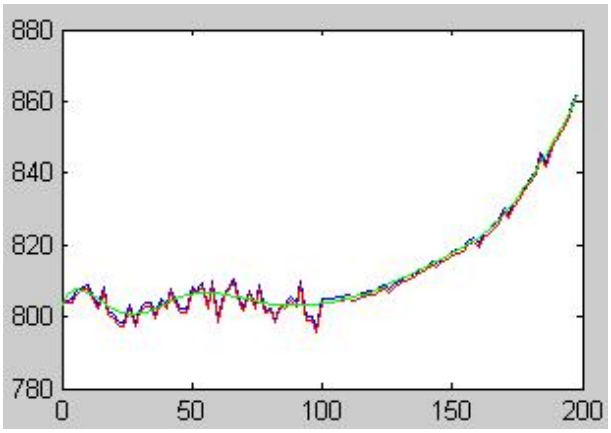



Рис. 5. Апроксимація прогнозованих даних

Для виявлення у часовому ряду, що досліджується, однорідних сукупностей значень (кластерів [9]), які можна асоціювати з певними режимами (нормальний - процес близький до стаціонарного; небезпечний - зміщення в бік критичного значення; передаварійна тенденція), зроблена спроба кластеризації методом Уорда при використанні Евклідової відстані. В результаті проведеного кластерного аналізу у вихідних даних виявлено наявність трьох кластерів – рис. 6.

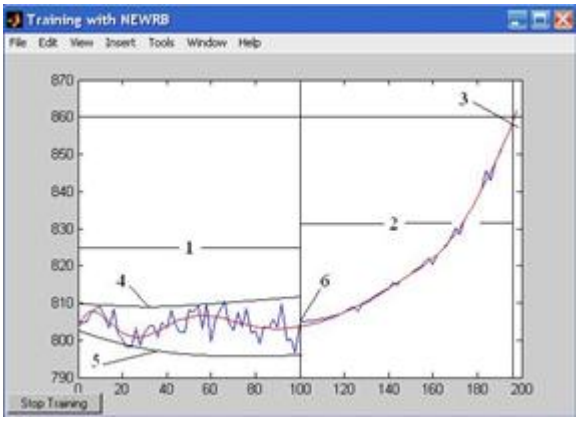



Рис. 6. Кластери:
1 – область нормальних значень; 2 – область небезпечних значень; 3 – область аварійних значень; 4 – верхня межа нормальних значень; 5 – нижня межа нормальних значень; 6 – початок області небезпечних значень

Перший кластер – область нормальних значень 1. Дані цієї області можна вважати стаціонарними, тобто відбувається звичайний процес, усі параметри повністю керовані та знаходяться в межах нормального процесу.

Другий кластер – область небезпечних даних 2. Дані цієї області зміщуються в бік критичного значення і являють собою передвісником передаварійної ситуації.

Третій кластер – область аварійних даних 3. При отриманні таких даних необхідно терміново

припинити процес. Регламентом технологічного процесу кожному контрольованому параметру призначається зона припустимих значень, вихід з якої означає критичний стан.

Найбільш цікавим в цьому процесі є початок передаварійного режиму, який потрібно виявити по можливості якомога швидше. На рис. 6 це точка 6.

В якості критерію розпізнавання початку цієї області пропонується використовувати різницю між верхньою межею нормальних даних (4 на рис. 6) і нижньою межею (5 на рис. 6). Значення цієї різниці визначається з експериментальних даних.

**Висновки.** В результаті досліджень розроблено інформаційна технологія прогнозування критичного стану контрольованого технологічного процесу на основі методів кластеризації з використанням RBFN: запропоновано методику представлення вихідних характеристик в нормованому вигляді; доведено наявність статистичного зв'язку "клас критичності системи - вибірковий набір параметрів"; побудована модель у вигляді RBFN, проведено обчислювальний експеримент, дані практичні рекомендації. Реалізація побудованої моделі на додаток до класичних засобів утримання процесу в рамках штатної ситуації дає особі, що приймає рішення, новий інструмент для запобігання виходу процесу в нештатну ситуацію, що підвищує безпеку потенційно небезпечних систем. Для використання в промисловості змодельованої моделі необхідно переконатися в повторюваності вхідних та вихідних даних технологічного процесу.

**Література**


1. Skarga-Bandurova I. Methods to assessing critical parameters and early warnings of dangerous situations / I. Skarga-Bandurova, L. Shumova, A. Ryazantsev // Journal of Information, Control and Management Systems. – 2014. – V. 12, No. 1. – P. 83-91. (зарубіжне видання, publisher: Faculty of Computer Science and Informatics at Žilina University, Slovakia).
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – 2-е изд., стереотип. –. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
3. Глибовець М.М., Олецький О.В. Штучний інтелект. - Київ: Вид. "КМ Академія", 2002. - 366 с.
4. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін. – Вінниця:УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 99 с.
5. Du K.-L. Neural Networks and Statistical Learning / K.-L. Du, M. N. S. Swamy. – London : Springer-Verlag, 2014. – 824 p.
6. Бодянский Е. В. Ядерная самоорганизующаяся карта на основе радиально-базисной нейронной сети / Е. В. Бодянский, А. А. Дейнеко, Я. В. Куценко // Электротехнические и компьютерные системы. – 2015. – № 20. – С. 97–105.
7. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.:ДИАЛОГ_МИФИ, 2002. – 496 с.
8. Прогнозирование временных рядов методом SSA. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.machinelearning.ru/...
9. Computational Intelligence. A Methodological Introduction / [R. Kruse, C. Borgelt, F. Klawonn and other]. – Berlin : Springer, 2013. – 488 p.


**References**


1. Skarga-Bandurova I. Methods to assessing critical parameters and early warnings of dangerous situations / I. Skarga-Bandurova, L. Shumova, A. Ryazantsev // Journal of Information, Control and Management Systems. – 2014. – V. 12, No. 1. – P. 83-91. (zarubizhne vidannya, publisher: Faculty of Computer Science and Informatics at Žilina University, Slovakia).
2. Rutkovskaya D., Pilinskiy M., Rutkovskiy L. Neronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Per. s polsk. I. D. Rudinskogo. – 2-e iad., stereotip. –. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2013. – 384 s.
3. Glibovets M.M., Oletskiy O.V. Shtuchniy intelekt. - Kyev: Vyd. "KM Akademiya", 2002. - 366 s.
4. Mokin B. I. Matematichni metody identifikatcii elektromehanichnyh procesiv / B. I. Mokin, V. B. Mokin. – Vinnytcya:UNIVERSUM-Vinnitsya, 1999. – 99 s.
5. Du K.-L. Neural Networks and Statistical Learning / K.-L. Du, M. N. S. Swamy. – London : Springer-Verlag, 2014. – 824 p.
6. Bodyanskiy E. V. Yadernaya samoorganizuyushayasya karta na osnove radialno-bazisnoy neyronnoy seti / E. V. Bodyanskiy, A. A. Deyneko, Y. V. Kucenko // Elektrotehnicheskie i komputernie sistemy. – 2015. – № 20. – S. 97–105.
7. Medvedev V.S., Potemkin V.G. Neyronnye seti. MATLAB 6 / Pod obsh. red. k.t.n. V.G. Potemkina. – M.:DIALOG_MIFI, 2002. – 496 s.
8. Prognozirovanie vremennyh ryadov metodom SSA. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.machinelearning.ru/...
9. Computational Intelligence. A Methodological Introduction / [R. Kruse, C. Borgelt, F. Klawonn and other]. – Berlin : Springer, 2013. – 488 p.



**Рубан В.Р., Шумова Л.А. Оценка безопасности технологического процесса на основе анализа временных рядов средствами искусственного интеллекта**

*Разработана информационная технология прогнозирования критического состояния контролируемого технологического процесса на основе методов кластеризации с использованием радиально-базисных нейронных сетей (RBFN), которые выбраны на основе предыдущего анализа и выделены их преобладающие особенности. Построена модель в виде RBFN, проведено обучения на основе технологических показателей. Для построения нейросети применен программный симулятор Neural Network Toolbox MATLAB 6.5, который рекомендуется использовать для моделирования персептронов с разным типом функций активации. Проведен вычислительный эксперимент, даны практические рекомендации для использования разработанной модели для выполнения технологического процесса. Реализация построенной модели в дополнение к классическим средствам удержания процесса в рамках штатной ситуации дает лицу, которое принимает решение, новый инструмент для предотвращения выхода*

*процесса в нештатную ситуацию, которая повышает безопасность потенциально опасных систем.*

***Ключевые слова:*** *кластер, нейросеть, прогнозирование, временной ряд, математическая модель, искусственный интеллект, симулятор.*

**Ruban V.R., Shumova S.O. Assessment of the technological process safety based on the time-series analysis by means of artificial intelligence**

*The developed Information technology for prediction of a critical state of controlled technological process based on clustering methods using radial-basic neural networks (RBFN), which are selected on the basis of the preliminary analysis. Their preferable features are also highlighted. The model is constructed in the form of RBFN, the doctrine is based on technological indices. A software stimulator Neural Network Toolbox MATLAB 6.5 was used for building a neural network. It is recommended to use it to model perceptrons with different types of activation functions. A computational experiment was conducted, practical recommendations for the use of the developed model for the implementation of the technological process have been given. Realization of the built model in addition to the classical means of keeping the process within the regular situation gives the person, who makes decisions, a new tool to prevent the process from coming into an unusual situation which increases the safety of potentially dangerous systems.*

***Key words:*** *cluster, neural network, forecasting, time series, mathematical model, artificial intelligence, simulator.*

**Рубан Владислав Романович**, магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: say13@i.ua
**Шумова Лариса Олександрівна**, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: shumova@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., професор ***Стенцель Й.І.***

Стаття подана 19.09.2018

УДК 004.9

# МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕРНЕТ-МАЙДАНЧИКІВ ТА CMS ДЛЯ ЇХ ПІДТРИМКИ

**Савицька Я.А., Смолій В.В.**

# INTERNET-PLATFORMS MODELS FUNCTIONING AND CMS FOR THEIR SUPPORT

**Savitskaya I.A., Smoliy V.V.**

*В роботі на прикладах з області електронної комерції розглянуті принципи організації тематичних інтернет-майданчиків, проаналізовано ролі і відносини суб'єктів у процесі взаємодії, висунуто пропозиції щодо методів опису моделей предметних областей для реалізації інтернет-майданчиків різної спрямованості. Окремо розглянуто основні класи та функціональні характеристики систем управління контентом і проведено їх порівняльний аналіз з точки зору вибору засобів для розробки інтернет-майданчиків. Визначено їх основні недоліки та переваги (на прикладі трьох найбільш популярних систем). Виділено перспективні напрямки в проведенні подальших досліджень і проектних робіт.*

***Ключові слова:*** *інтернет-майданчик, комп'ютерна платформа, бізнес-логіка, система управління контентом, плагіни.*

**Вступ.** Розвиток технологічної бази Інтернет призвів до підвищення оперативності та надійності доставки інформації, її високого ступеня захищеності і, при цьому, максимальної відкритості, уніфікації та стандартизації більшості основних сервісів і технологій. Це привернуло увагу комерційних структур, які перенесли свою діяльність в Інтернет частково або повністю. Для позначення таких Інтернет-спільнот використовують термін «Інтернет-майданчик», який не завжди може бути однозначним. Неоднозначність тлумачення пояснюється багатоваріантністю визначення в англійській мові слова «platform», синоніма і першоджерела слова «майданчик». Так, наприклад, в [1, 2, 6] вказані такі тлумачення: 1) план або проект; 2) визначення принципів, за якими об'єднується група людей (політична партія); 3) місце або можливість публічного обговорення; 4) в інформатиці - архітектура комп'ютера і компоненти операційної системи.

Основним завданням даної роботи є аналіз інформації Інтернету з метою виділення найбільш загальних принципів і класифікаційних ознак, що характеризують термін «Інтернет-майданчик». Об'єктом дослідження обрано процес формування локалізованої функціональної Інтернет-групи, а предметом дослідження - структурна і технологічна організація Інтернет-платформ.

Інтернет-майданчики – це об'єднання користувачів Інтернету за спільною ознакою, яка характеризує:

– приналежність до однієї виробничої галузі (газова промисловість, металургія, наука);

– спільність характеру вирішуваних завдань – так, найбільш часто зустрічаються торгові інтернет-майданчики;

– неформальні соціальні об'єднання.

Рішення таких задач передбачає наявність відповідного інструментарію, який дозволяє створити інформаційну інтернет-систему із заданими характеристиками. З огляду на той факт, що створення інтернет-майданчиків, надання послуг з їх розміщення і супроводу так само стали видами бізнесу і визначили необхідність наявності в складі компонентів реалізації технічного, дизайнерського і адміністративного управління. Більшість цих завдань вирішується системами управління контентом (CMS – content management systems), на основі яких будуються он-лайн сервіси створення і управління сайтами, якими, по суті, так само є і інтернет-майданчики. Таким чином, CMS повинні вирішувати завдання зазначених трьох напрямків.

**Основна частина.** Особливість застосування терміна визначає першу характерну ознаку класифікації, яку можна назвати «цільовим використанням» і виділити дві його основні реалізації - «програмно-апаратний інструментарій» і «об'єднання суб'єктів».

Другою класифікаційною ознакою можна вважати «функціональну спрямованість» майданчика, яка визначає цільову спрямованість діяльності групи суб'єктів – торгова, дискусійна, суспільно-політична, адміністративно-управлінська і т.д.

Для подальшого аналізу зручно розглядати особливості терміна і характеристики відповідних об'єктів на прикладі електронних торговельних майданчиків - ЕТМ, як найбільш широко поширених і найбільш досліджуваних та висвітлених у мережі.

Так, наприклад, в [5] наводиться таке визначення ЕТМ: «... Торговий майданчик – це сайт в мережі Інтернет, на якому проводяться електронні аукціони (закупівлі). Електронний майданчик поєднує в собі комплекс організаційних, інформаційних і технічних рішень, що забезпечують взаємодію покупця і продавця». При цьому, не є важливим, хто є суб'єктом з однієї чи іншої сторони – окремий індивід або їх співтовариство в формі організації. У загальному випадку суб'єктами, що здійснюють взаємодію на Інтернет-майданчику, можуть бути – людина (consumer), організація (business) або держава (government).

Основне завдання ЕТМ – оптимізація витрат, підвищення ефективності та оперативності роботи. Особливістю, якою володіють ЕТМ по відношенню до інших видів Інтернет-майданчиків, є різноманіття процесів взаємодії між суб'єктами в залежності від їх статусу – покупець або продавець. Породжена безліч різновидів ЕТМ за існуючою на сьогодні класифікацією визначається наступним набором: consumer-to-consumer (C2C) – системи електронної торгівлі між приватними особами; business-to-consumer (B2C) – системи роздрібної торгівлі в формі Інтернет-магазинів; business-to-government (B2G) – системи електронної торгівлі для організації державних закупівель; business-to-business (B2B) – контрагентами торгових операцій, що проводяться є юридичні особи.

Останнім часом в Інтернеті з'явився і новий тип взаємодії, який умовно можна віднести до категорії consumer-to-government – це майданчики взаємодії державних структур з громадянами з метою підвищення ефективності системи управління державою і розширення демократичних принципів її побудови, залучення широких верств населення в процеси підготовки та прийняття рішень законодавчого і виконавчого рівня [4]. В даному випадку громадяни виступають споживачами політичного продукту державної системи.

Розглядаючи Інтернет-майданчики як інструмент, або володіння ним, або управління ним, вони можуть потрапити в один з 3-х основних різновидів відносин: створювані і підтримувані покупцями (buyer-driven), продавцями (seller-driven) або третьою стороною (third-party-driven).

Перший різновид характерний для процесів типу B2B, B2G. Слід зазначити, що в моделі B2G держава виступає, в основному, як покупець, але строго регламентує правила проведення продажів, хоча часто не є власником Інтернет-майданчика.

Другий різновид володіння характерний для процесів типу B2B, B2C, а третій - для відносин B2B, B2C, C2C. По-суті, останній варіант розвинувся в окремий вид бізнесу, в якому, фахівці в області IT-індустрії надають послуги у вигляді підготовленого ними інструментарію іншим особам (модель B2B). Як видно, людина-споживач ні в одній з категорій відносин не є власником відповідного інструменту.

Одним з найважливіших питань організації і реалізації Інтернет-майданчика є його функціональність. Так в [5] відзначається, що для ЕТМ найбільш типовим набором функцій, що реалізовуються є: 1) інформаційна для ознайомлення зі складом організацій і їх описами; 2) маркетингова для пошуку відповідних контрагентів та умов ринку; 3) рекламна для розміщення інформації про себе; 4) торгова для організації і здійснення торгово-закупівельних операцій; 5) аналітична для виконання контролю і аналізу діяльності організації та інших учасників ринку; 6) захисту інформації для організації безпечного документообігу на основі криптографічних засобів.

В принципі, будь-яка сфера людської діяльності для побудови і опису моделі процесів взаємодії між складовими її компонентами і суб'єктами може бути перенесена методом аналогій в область опису бізнес-процесів, оскільки покликана задовольнити якусь людську потребу в ході виконання певних дій і здійсненні певних витрат (часу, знань, грошових коштів і ін.). Відповідно, як товар можуть виступати знання (в області освіти, блогінгу та соціальних сервісів), здоров'я (в області медицини), інформація (комунікаційні ресурси Інтернет та ЗМІ), та багато іншого. Це дозволяє побудувати відносно універсальні інформаційні засоби для реалізації Інтернет-майданчика. Аналіз їх основних функцій дозволяє виділити такі компоненти: систему управління контентом, засоби аналітичного аналізу функціонування інформаційної системи як з точки зору надійності і ефективності технічної реалізації, так і аналізу, і прогнозування в предметній області, засоби адміністрування різного роду, інтерфейсні засоби для організації роботи користувачів.

Системи управління, з історичних причин, є найбільш розвинені у напряму вирішення задач дизайнерського напрямку. Як правило, в сучасних CMS, ці завдання вирішуються на основі шаблонів. У більш просунутих системах передбачається також можливість використання і індивідуальних стилів і форматування сторінок.

Другу групу складають власне завдання управління інформаційним і адміністративним вмістом. Інформаційний вміст формується, як правило, на динамічній основі, тобто, залежить від того який користувач запитує інформацію, коли і звідки. Дане завдання вирішується використанням різного роду СУБД або систем управління документами, як наприклад в SharePoint [7].

Завдання адміністративного управління вирішуються по-різному. Як правило, для цього використовуються або засоби операційної системи з

Таблиця

**Основні відмінності найбільш поширених CMS**

| Характеристика | WordPress | Joomla | Drupal |
|---|---|---|---|
| Використання CMS сайтами, % | 27 | 2,8 | 2,2 |
| Необхідний рівень підготовки | Початківець | Веб-дизайнер | Веб-розробник |
| Специфіка використання | Ведення блогів і сайтів новин | Підтримка електронної комерції, соціальних мереж та ін. | Розраховані на багато користувачів сайти спільнот, інтернет-магазини |
| Підтримка електронної комерції | Так, з WooCommerce | Так, з використанням розширень для управління продуктами і змістом | Поки не підтримує стабільний модуль електронної комерції |
| Кількість тем | > 7600 | > 4000 | > 2300 |
| Доступні плагіни і функціональність | 47593 плагіна | 8634 розширення | 35825 модулів |
| Використовані СУБД | MYSQL or MARIABD | MYSQL | MYSQL, MARIABD or PERSONA SERVER |
| Рейтинг безпеки (ядро) | * | *** | ** |
| Рейтинг безпеки (плагіни/розширення/модулі) | *** | ** | * |
| Облік особливостей мобільних пристроїв | Плагін, що дозволяє створювати адаптивний сайт | Оновлення версій або використання розширень | Вбудовані модулі і теми |

управління користувачами і групами, або зовнішні ресурси зі складними механізмами аутентифікації і підтвердження особи. Однак, в завданні адміністрування користувачів необхідно виділити дві основні групи, якими потрібно управляти – це інтернет-користувачі, що споживають контент і користувачі, що займаються обслуговуванням системи управління контентом і її розробкою і розвитком.

Крім розглянутих функцій і напрямків, слід виділити таку характеристику як універсальність системи управління, що дозволяє реалізувати інтернет-платформу будь-якого напрямку на одному і тому ж ядрі. Гнучкість CMS в цьому відношенні визначається набором модулів, що входять до її складу і можливістю гнучкої модифікації їх складу для використання кінцевим користувачем. Дане завдання в сучасних умовах вирішується на основі технології plugin-ів, вбудованих в базовий «скелет» системи, званий framework.

У загальному випадку [8], базовий набір модулів складається з:

- динамічне меню,
- блог;
- новини;
- опитування;
- пошук по сайту;
- статистика відвідувань;
- гостьова книга і т. д.

У свою чергу, будь-яка CMS базується на деякій технологічній платформі – комплексі засобів, що дозволяє її розвивати і модифікувати. В першу чергу, базу платформи складають мови програмування, які можуть бути як скриптові, на зразок perl, python, PHP, так і класичні мови програмування, наприклад, Сі в технології ASP.NET.

Найбільш поширеними CMS в інтернет-спільнотах є WordPress, Joomla, Drupal, Microsoft SharePoint, Bitrix.

Останні дві орієнтовані на розробку корпоративних систем управління і колективного використання документації, тому розглядати їх як інструменти для побудови інтернет-майданчиків буде не коректно. Основні відмінності інших розглянемо детальніше в табл. [9].

**Висновок.** Аналіз сучасного стану Інтернет-спільноти вказує на наявність двох різноспрямованих процесів – диверсифікація глобального співтовариства з рухом в специфічні фокус-групи та розширення охоплення населення в мережевих сервісах. Потенційно висока динаміка зростання електронних спільнот пояснюється інтенсивністю розвитку внутрішньодержавних телекомунікаційних засобів та їх орієнтованості на комунікативні функції населення з потенційно низьким бар'єрам входження учасників в соціальні групи.

Наявність широкого та досить типового набору можливостей є позитивною стороною використання систем управління контентом для розробки інтернет-майданчиків.

Однак, слід розглянути і недоліки CMS. Основні проблеми, які не вирішують системи управління контентом, пов'язані з тим, що інтернет-майданчик повинен охоплювати різноманітні аспекти змісту інформації – це різнорідність інформації, яка погано піддається формалізації (гетерогенність) та завдання, пов'язані з аналізом інформації або зміни її форми (в них відсутнє

аналітичне ядро). Ці проблеми є найбільш актуальними та перспективними.

Розглянуті особливості та характеристики електронних торговельних майданчиків вказують на високу ступінь універсальності використовуваних підходів в організації спеціалізованих електронних спільнот як соціальних груп, так і технічних засобів. Однак, для ефективної реалізації поставлених завдань необхідно приділити увагу методам уніфікованого представлення і опису логіки функціонування різнорідних в сферах діяльності процесів, для чого в якості бази можуть бути використані імітаційні моделі економічних процесів.

**Литература**


1. Кембриджский словарь английского языка. (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL: http://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/platform
2. Прилавки для B2B (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL: http://www.i2r.ru/static/497/out_16482.shtml
3. Соколов А. Особенности интернет-пространства как площадки взаимодействия// Александр соколов, Игорь Маклашин, Власть, №12, 2013, с.60-62.
4. Электронная торговая площадка (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Электронная_торговая_площадка
5. Электронные торговые площадки: определение, виды площадок, функции. (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL: http://zakupkihelp.ru/uchastniku-zakupok/elektronnye-torgovye-ploshadki.html
6. Definition of Platform by Merriam-Webster (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL:https://www.merriam-webster.com/dictionary/platform
7. Костромин В. А. Конспект вебмастера. Выбор системы управления содержанием сайта (контентом) // Справочник вебмастера. 2009. –188 с.
8. Система управления контентом (Электрон. ресурс)/ Режим доступу URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления_содержимым (дата звернення 20.03.2018).
9. WordPress, Joomla и Drupal – Основные характеристики популярных CMS (Электрон. ресурс)/ Режим доступа URL: http://pechenek.net/prestashop/wordpress-joomla-i-drupal-osnovnyie-harakteristiki-populyarnyih-cms/ (дата звернення 20.03.2018).


**References**


1. Meaning of “platform” in the English Dictionary https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/platform
2. Prilavki dlia B2B http://www.i2r.ru/static/497/out_16482.shtml
3. Sokolov A. Osobennosti internet-prostranstva kak ploshhadki vzaimodejstvija// Aleksandr sokolov, Igor' Maklashin, Vlast', №12, 2013, s.60-62.
4. Online shopping malls/ https://en.wikipedia.org/wiki/Online_shopping_malls
5. Jelektronnye torgovye ploshhadki: opredelenie, vidy ploshhadok, funkcii./ http://zakupkihelp.ru/uchastniku-zakupok/elektronnye-torgovye-ploshadki.html
6. Definition of Platform by Merriam-Webster/ https://www.merriam-webster.com/dictionary/platform
7. Kostromin V. A. Konspekt vebmastera. Vybor sistemy upravlenija soderzhaniem sajta (kontentom) // Spravochnik vebmastera. 2009. –188
8. Content management system https://en.wikipedia.org/wiki/ Content_management _system
9. WordPress, Joomla и Drupal – Osnovnye harakteristiki populjarnyh/ CMS http://pechenek.net/prestashop/wordpress -joomla-i-drupal-osnovnyie-harakteristiki-populyarnyih -cms



**Савицкая Я.А., Смолий В.В. Модели функционирования Интернет-площадок и CMS для их поддержки.**

*В работе на примерах из области электронной коммерции рассмотрены принципы организации тематических Интернет-площадок, проанализированы роли и отношения субъектов в процессе взаимодействия, предложены методы описания предметных областей для реализации Интернет-площадок различного направления. Также рассмотрены основные классы и функциональные характеристики систем управления контентом, проведен их сравнительный анализ. Определены их преимущества и недостатки на примере трёх наиболее используемых систем. Определены перспективные направления дальнейших исследований.*

***Ключевые слова:*** *Интернет-площадка, компьютерная платформа, бизнес-логика, система управления контентом, плагин.*

**Savitskaya I.A., Smoliy V.V. Internet-platforms models functioning and CMS for their support.**

*The article describes the principles of organizing thematic Internet sites on examples from the field of e-commerce. The roles and relations between subjects in interaction process are analysed, methods for describing subject areas for various directions of Internet sites implementation are proposed. The main classes and functional characteristics of content management systems were considered and comparative analysis carried out. The advantages and disadvantages of three the most popular Internet-platforms were determined. The authors also pointed out promising areas for further research.*

***Keywords:*** *Internet platform, business-logic, Content Management System, plug-in.*



**Савицька Я.А.** – к.т.н., асистент кафедри комп'ютерних систем і мереж НУБіП України, yasawitskaya@gmail.com
**Смолій В.В.** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж НУБіП України, dr.v.smoliy@gmail.com



*Рецензент:* д.т.н., проф. Татарченко Г.О.

Стаття подана 23.11.2018

УДК 004.414

# РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ З ТРАДИЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ ОСВІТИ

**Сафонова С.О., Коваленко В.Є., Парамонова Т.А.**

# DEVELOPMENT OF THE MODEL OF INTERACTION OF COMPUTER SYSTEMS OF REMOTE TRAINING WITH THE TRADITIONAL SYSTEM OF EDUCATION

**Safonova S., Kovalenko V., Paramonova T.**

*У статті розглянуто питання інтеграції комп'ютерних систем дистанційного навчання (КСДН) у традиційну систему освіти. Розроблено модель взаємодії систем дистанційного навчання з традиційною системою освіти, проаналізовано різні підходи до реалізації цієї моделі. Запропонована модель є значним кроком до удосконалення процесу навчання.*

***Ключові слова**: інтеграція, система дистанційного навчання, навчальна програма, компетентністний підхід, критерії відповідності, дерево прийняття рішень.*

**Вступ**. Впровадження систем управління навчанням (Learning Management System (LMS), E-learning) у вищий навчальний заклад (ВНЗ) вирішує не тільки проблему організації дистанційної освіти, а й стає потужною технологічною підтримкою для підвищення освітніх стандартів в усіх напрямках. Інтегруючи E-learning, ВНЗ нарощує конкурентоспроможність, в тому числі шляхом збільшення кількості випускників і престижності диплома.

**Постановка проблеми.** На сьогодні існує величезна кількість всіляких джерел знань. Інтернет же надає практично необмежений доступ до них. Дуже швидкими темпами відбувається розвиток вже наявних, таких як Coursera, Udacity та ін., і поява нових систем дистанційної освіти. За своєю суттю обсяг наданих знань у традиційній університетській системі освіти та знання, що надаються в КСДН, відрізняються лише підходом до подачі навчального матеріалу та системою оцінювання. Хоча зараз вже починають зустрічатися все більш різноманітні засоби оцінки знань в КСДН.

Виникає закономірне питання, чому при однаковому або практично однаковому обсязі знань у студента немає можливості будь-яким чином вибирати те, в якій формі він хоче отримати даний обсяг знань? Для того, щоб вирішити дану проблему спочатку потрібно виявити проблеми, пов'язані з інтеграцією сторонніх незалежних від конкретного університету КСДН:

1. Проблема визначення якості знань, отриманих в сторонньої КСДН. Необхідно розробити механізм, щоб викладач міг формалізувати обсяг необхідних знань для отримання позитивної оцінки за курс, а студент міг, виходячи із заданого набору формальних параметрів, обирати курс в КСДН, який би відповідав даним формальним показникам.
2. Проблема відповідності оцінки, тобто потрібно поставити у відповідність Болонську систему оцінювання і систему оцінювання в конкретній КСДН. Ця проблема не стоїть гостро через те, що практично всі дистанційні системи освіти виставляють оцінку або за 100-бальною, або відсотковою шкалою, що досить просто приводиться до Болонської системи оцінювання.
3. Проблема контролю якості знань. На сьогодні переважна більшість систем дистанційної освіти після закінчення навчання видають сертифікат про закінчення курсу та надають засоби верифікації даних сертифікатів, що є гарантією того, що студент отримав необхідний обсяг знань і КСДН гарантує те, що студент пройшов всі контролі якості на достатній рівень.
4. Ще одна проблема – зайва формалізованість. Все ж таки процес навчання пов'язаний з певним ступенем свободи в вивченні матеріалу, його подачі та інформації, яка міститься в ньому, тому не можна вимагати 100% відповідності курсу в певній КСДН матеріалам, запропонованим для вивчення викладачем. Більш того може виникнути ситуація, коли матеріали та спосіб подачі пропонований в дистанційній системі освіти виявиться кращим та якіснішим, ніж матеріал, запропонований викладачем. Тому необхідно надати механізм якогось підтвердження викладачем курсів в

КСДН, які підходять для вивчення дисципліни в разі невідповідності заданих викладачем формальних ознак.

5. Остання проблема – інтеграція КСДН не повинна значно збільшувати навантаження як на викладача, так і на студента, і співробітника деканату. Система інтеграції повинна бути легкою в роботі та не мати ускладнений та важкий для роботи та розуміння інтерфейс.

У зв'язку з цим розробка спрямована на рішення актуальної науково-прикладної задачі.

**Мета статті.** Виходячи з вищеописаних проблем, необхідно розробити модель взаємодії КСДН з традиційною системою освіти та концепцію підходу, який може бути імплементований в певній автоматизованій системі та здатний вирішувати описані вище проблеми та завдання.

**Основний текст.** Нормативний зміст підготовки фахівців в освітньо-професійних та освітньо-наукових програмах (ОПП та ОНП) має формулюватися у термінах компетентностей та результатів навчання, досягнення яких потребує відповідного переліку навчальних дисциплін, який визначає ВНЗ при формуванні навчальних планів. Результати навчання характеризуються сукупністю: знань, умінь, комунікаціями, автономністю і відповідальністю. Компетентності для відповідної спеціальності та рівня вищої освіти знаходять своє відображення при формуванні ОПП та навчального плану, який відображає спосіб набуття результатів навчання через вивчення відповідних навчальних дисциплін.

Зовсім недавно все більше стали звертати увагу на компетенції, які отримує особа під час навчання. Саме із компетенцій складається майбутній фахівець певної галузі. Тому дуже важливо використовувати компетентністний підхід і у дистанційному навчанні.

Отже, для того, щоб було можливо зарахувати пройдений студентом курс в одній із КСДН необхідною умовою є те, що цей курс має відповідати заданому набору критеріїв, а саме:

- назва курсу має відповідати дисципліні;
- об’єм курсу має відповідати об’єму дисципліни;
- структура курсу має відповідати структурі дисципліни;
- тематична наповненість курсу – тематика курсу має в певній мірі збігатися с тематичним наповненням дисципліни;
- застосовування компетентнісного підходу – тобто, після проходження курсу в КСДН студент має здобути компетенції, що були визначені як необхідні для даної дисципліни.

Також слід зазначити, що стовідсоткового збігу за всіма цими ознаками досягти занадто важко, якщо не неможливо. Тому додатково є необхідним визначити такий параметр, як критерій відповідності – мінімально достатній рівень збігу пройденого студентом курсу в КСДН та дисципліни, що вивчається у ВНЗ стаціонарно, за наведеними ознаками.

Отже, для успішної розробки системи інтеграції КСДН необхідно розробити декілька формалізованих шаблонів, що мають заповнюватись студентом та викладачем, а також дерево прийняття рішень, що буде вирішувати чи відповідає певний курс дисципліні.

Шаблон, що буде заповнюватись викладачем, має визначати набір критеріїв, яким має відповідати курс для того, щоб він був зарахований в якості відповідного до певної навчальної дисципліни. В загальному випадку цей шаблон може мати наступний вигляд (таблиця 1).

Таблиця 1

**Критерії відповідності, що заповнюється викладачем. Шаблон**

| Назва дисципліни | <Назва курсу> | |
|---|---|---|
| Об’єм дисципліни | Лекції | <Кількість лекційних годин> |
| | Лабораторні роботи | <Кількість годин на лабораторні роботи> |
| | Практичні роботи | <Кількість годин на практичні роботи> |
| | Самостійна робота | <Кількість годин для самостійної роботи> |
| Перелік тем | <Тема 1><br><Тема 2> | |
| Компетенції | <Компетенція 1><br><Компетенція 2><br><Компетенція 3> | |
| Знання, уміння | <Знання 1><br><Знання 2><br><Уміння 1><br><Уміння 2> | |
| Мінімальний поріг збігу критеріїв відповідності | <Мінімальний поріг відповідності у відсотках> | |

Заповнивши цей нескладний шаблон, викладач визначає ключові особливості дисципліни, на які можуть спиратися студенти при виборі курсу в будь-якій КСДН. Заповнений викладачем екземпляр цього шаблону має бути постійно у вільному доступі для студентів, щоб вони мали змогу в будь-який час перевірити відповідність обраного курсу.

Складання загального шаблону для студента є дещо складнішим, але матиме схожий вигляд з шаблоном викладача (таблиця 2).

Таблиця 2

**Критерії відповідності, що заповнюється студентом. Шаблон**

| | | |
|---|---|---|
| Назва дисципліни | <Назва курсу> | |
| Об'єм дисципліни | Лекції | <Кількість лекційних годин> |
| | Лабораторні роботи | <Кількість годин на лабораторні роботи> |
| | Практичні роботи | <Кількість годин на практичні роботи> |
| | Самостійна робота | <Кількість годин для самостійної роботи> |
| Перелік тем | <Тема 1><br><Тема 2> | |
| Компетенції | <Чи здобули ві компетенцію 1><br><Чи здобули ві компетенцію 2><br><Чи здобули ві компетенцію 3> | |
| Знання, уміння | <Чи здобули ви знання 1><br><Чи здобули ви знання 2><br><Чи здобули ви уміння 1><br><Чи здобули ви уміння 2> | |
| Здобута оцінка | <Здобута оцінка> | |
| Посилання на пройдений курс | <Посилання на web сторінку пройденого курсу> | |
| Посилання на отриманий сертифікат | <Посилання на отриманий сертифікат> | |

Основне завдання цього шаблону – це визначення відповідності вивченого студентом курсу тим критеріям, які було обрано викладачем як ключові. Основна складність при цьому – це об'єктивність визначення відповідності здобутих компетенцій, оскільки невелика кількість курсів в КСДН визначає компетенції, які будуть здобуті студентом, а також формулювання цих компетенцій може дещо відрізнятись. Для вирішення цієї проблеми є кілька підходів:

1. Студент відповідає на питання про компетенції у форматі тестування. Для цього викладач складає невеличкий тест для виявлення відповідності знань студента визначеним компетенціям.

2. Студент відповідає на питання у форматі «Освоїли ви компетенцію 1?» з відповідями «Так» або «Ні». Звісно це не надто об'єктивний засіб визначення рівня знань, але студент також має надати посилання на вивчений ним курс та посилання на отриманий ним сертифікат, що забезпечить достовірність оцінки.

3. Третій підхід – це розробка системи з методами машинного навчання, штучного інтелекту та засобів кросмовного аналізу для автоматичного визначення компетенцій, що надає курс, та їх відповідності ознакам, сформованими викладачем.

Другий варіант не потребує занадто великих коштів та часу на розробку, як третій варіант, не потребує додаткових дій від викладача (складання тестів для визначення рівня відповідності) та є достатньо об'єктивним, тому здається найбільш відповідним.

При наявності двох описаних шаблонів та визначених проблем стає можливим розробка дерева прийняття рішень, після розробки якого можна переходити до наступного етапу – формування вимог до реалізації заданої системи. Дерево прийняття рішень є інструментом підтримки прийняття рішень, який складається з графічного представлення наявних альтернатив, що генеруються з початкового рішення. Однією з найбільших переваг дерева рішень є можливість трансформації або декомпозиції однієї складної задачі в кілька більш простих підзадач. Рекурсивно нові сформульовані підзадачі знову розбиваються на ще більш прості підзадачі.

На рисунку наведено розроблену схему прийняття рішень, при використанні якої стає можливою інтеграція різноманітних систем дистанційної освіти для зарахування різноманітних дисциплін навчальної програми університету.

Таким чином, після розробки шаблонів та дерева прийняття рішень є можливим сформулювати вимоги до системи, що треба розробити на першій ітерації.

Для опису вимог найбільш швидким та простим (без необхідності застосування занадто формалізованих документів та виконання адміністративних задач, пов'язаних з опрацюванням цих документів) є метод створення історії користувача.

Наміром, з яким використовують історії користувача, є швидше та менш накладне реагування на швидко змінювані вимоги реального світу.

Історії користувача – це неформальний опис вимог до тих пір, поки відсутні відповідні тести прийнятності. Перед тим як реалізовувати історію користувача, відповідна процедура прийняття має бути написана користувачем, що тестуванням чи іншим чином визначає чи задоволені вимоги історії користувача. Деяка формалізація відбувається, коли розробник приймає історію користувача та відповідну процедуру прийнятності.

Для системи інтеграції КСДН з традиційною системою освіти були створені наступні історії користувача:

Для користувацької ролі «Студент» були визначені наступні історії. Як студент, я хочу мати можливість:

1. Увійти в систему для її використання.
2. Бачити перелік дисциплін, що вивчаються у поточному семестрі для того, щоб розуміти, які курси я хочу вивчити в КСДН.

Рис. Дерево прийняття рішень

3. Продивитись сформовані викладачем формальні критерії для певної дисципліни, щоб мати можливість обрати найбільш відповідний до них курс в КСДН.

4. Додати пройдені мною курси до системи, щоб мати можливість вивчати дисципліни в КСДН.

5. Переглядати статус доданих мною дисциплін, щоб розуміти поточний статус дисциплін, що треба вивчити в поточному семестрі.

6. Переглядати підтверджені викладачем курси, щоб мати змогу обрати курси, що гарантовано відповідають навчальній програмі.

Для ролі «Співробітник деканату» були визначені наступні історії. Як співробітник деканату, я хочу мати можливість:

1. Завантажувати семестровий план навчання для того, щоб студенти мали можливість вивчати дисципліни в КСДН.

2. Переглядати перелік дисциплін, що були зараховані для студентів, щоб мати можливість перенести ці дані у документацію університету.

3. Переглядати додані студентом у систему сертифікати для здійснення перевірки та верифікації пройдених студентом дисциплін.

Для користувацької ролі «Викладач» були визначені наступні історії. Як викладач, я хочу мати можливість:

1. Додавати критерії для дисциплін, що викладаю, щоб студенти мали можливість пройти цю дисципліну в КСДН.

2. Підтверджувати різноманітні курси, що були відправлені студентами на верифікацію для того, щоб підвищити рівень навчальних матеріалів та не обмежувати студентів в їх можливостях.

3. Підтверджувати курси, як ті, що підходять для вивчення дисципліни, щоб надалі студенти

мали можливість проходити ці курси в якості вивчення дисципліни.

**Висновки**. Запропонована модель є значним кроком до удосконалення процесу навчання.

Надалі функціонал даної системи може бути дещо розширений наступними можливостями:

- додавання машинного навчання, штучного інтелекту та кросмовного аналізу для доданих студентом курсів, щоб максимально зняти навантаження з викладача;
- додавання інтеграції розробленої системи з LMS Moodle для автоматичного завантаження переліку компетенцій, знань та умінь відповідних дисципліні;
- додавання функціоналу поштової розсилки, щоб викладач та студент могли вчасно реагувати на дії один одного в системі;
- додавання інтеграції з різноманітними КСДН для автоматичної верифікації доданих студентами сертифікатів;
- інтеграція з іншими університетськими системами для зменшення одноманітних дій користувачів системи;

розробка мобільних додатків для найбільш комфортного використання системи всіма учасниками.

**Література**


1. Система дистанційного навчання (СДН) [Електронний ресурс] / Науково-методологічний центр дистанційного навчання. – Режим доступу: www / URL: - http://www.web-learn.ru/biblioteka-online/34-learning-management-system – 11.06.2017 р – Загл. з екрану.
2. Analytical survey Distance Education for the Information Society: Policies, Pedagogy and Professional Development. Moscow 2000, 86 pp., UNESCO Institute for Information Technologies in Education, pp.3-6
3. Coursera [Електронний ресурс] / Coursera. – Режим доступу www / URL: https://www.coursera.org/ – 11.06.2017 р – Загл. з екрану.
4. Udacity [Електронний ресурс] / Udacity. – Режим доступу www / URL: https://www.udacity.com/ – 11.06.2017 р – Загл. з екрану.
5. ІНТУІТ [Електронний ресурс] / ІНТУІТ. – Режим доступу www / URL: http://www.intuit.ru – 11.06.2017 р – Загл. з екрану.
6. Левитин А. В. Глава 10. Ограничения мощи алгоритмов: Деревья принятия решения // Алгоритмы. Введение в разработку и анализ — М.: Вильямс, 2006. — С. 409–417. — 576 с.


**References**


1. Sistema distancijnogo navchannja (SDN) [Elektronnij resurs] / Naukovo-metodologichnij centr distancijnogo navchannja. – Rezhim dostupu: www / URL: - http://www.web-learn.ru/biblioteka-online/34-learning-management-system – 11.06.2017 r – Zagl. z ekranu.
2. Analytical survey Distance Education for the Information Society: Policies, Pedagogy and Professional Development. Moscow 2000, 86 pp., UNESCO Institute for Information Technologies in Education, rr.3-6
3. Coursera [Elektronnij resurs] / Coursera. – Rezhim dostupu www / URL: https://www.coursera.org/ – 11.06.2017 r – Zagl. z ekranu.
4. Udacity [Elektronnij resurs] / Udacity. – Rezhim dostupu www / URL: https://www.udacity.com/ – 11.06.2017 r – Zagl. z ekranu.
5. 5INTUIT [Elektronnij resurs] / INTUIT. – Rezhim dostupu www / URL: http://www.intuit.ru – 11.06.2017 r – Zagl. z ekranu.
6. Levitin A. V. Glava 10. Ogranichenija moshhi algoritmov: Derev'ja prinjatija reshenija // Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz — M.: Vil'jams, 2006. — S. 409–417. — 576 s.


**Сафонова С.А., Коваленко В.Е., Парамонова Т.А. Разработка модели взаимодействия компьютерных систем дистанционного обучения с традиционной системой образования**


*В статье рассмотрены вопросы интеграции компьютерных систем дистанционного обучения (КСДО) в традиционную систему образования. Разработана модель взаимодействия систем дистанционного обучения с традиционной системой образования, проанализированы различные подходы к реализации этой модели. Предложенная модель является значительным шагом к совершенствованию процесса обучения.*



***Ключевые слова:*** *интеграция, система дистанционного обучения, учебная программа, компетентностный подход, критерии соответствия, дерево принятия решений.*


**Safonova S.O., Kovalenko V.E., Paramonova T.A. Development of the model of interaction of computer systems of remote training with the traditional system of education.**


*The article deals with the integration of computer-based distance learning systems (CDLS) into the traditional education system. A model has been developed for interaction of distance learning systems with the traditional education system has been developed, various approaches to the implementation of this model have been analyzed. The proposed model is a significant step towards improving the learning process.*



***Keywords:*** *integration, distance learning system, curriculum, competence-based approach, eligibility criteria, decision tree.*



**Сафонова Світлана Олександрівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. safonovasa@ukr.net

**Коваленко Віталій Євгенович** – студент групи КІ -17дм, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. fanteby@gmail.com

**Парамонова Тетяна Аркадіївна** – студент групи КН - 17дм, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. tanyaparamonova99@gmail.com



*Рецензент:* д.е.н., проф. ***Даніч В.М.***

Стаття подана 23.10.2018

УДК 004.94

# ВІДСТЕЖЕННЯ RSSI З BLUETOOTH-МАЯКІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ В ПРИМІЩЕННІ

**Севост'янов О.Р., Скарга-Бандурова І.С., Ардель О.В.**

# REAL-TIME RSSI TRACKING FROM BLUETOOTH BEACONS TO IMPROVE INDOOR POSITIONING ACCURACY

**Sevostyanov O.R., Skarga-Bandurova I.S., Ardel O.V.**

*У статті представлені основні етапи розробки та тестування системи позиціонування в закритому просторі за допомогою Bluetooth передавачів і додатку на смартфоні. Принцип дії системи грунтується на алгоритмі Frequency Hopping Spread Spectrum і формулі передачі Фрііса. Проведено серію експериментів з оцінки точності даних, що виводяться, і правильності настройки системи переведенню сигналу в відстань. З метою покращення точності позиціонування в середині приміщень роботі використано фільтр Калмана. В результаті, отримано точність виявлення об'єкту до 90%, а час обробки сигналу більше 3 секунд. Зроблено висновок, що в подальшому є можливість покращити ці показники за допомогою більш детального оброблення сигналу та збільшення потужності пристроїв обробки сигналу в телефоні, що в свою чергу допоможе краще орієнтуватись у закритому просторі.*

***Ключові слова:*** *Bluetooth, RSSI, система позиціювання, обробка даних.*

**Вступ.** Позиціонування у просторі допомагає мільйонам людей щодня виконувати різні види робіт. Особливо актуально це для людей з обмеженими можливостями та для автоматичного пошуку розташування об'єктів в приміщеннях зі складною конфігурацією та незнайомих місцях. На сьогодні майже всюди діє система позиціонування через навігацію супутникових систем, таких як Global Positioning System (GPS) та Глобальна Навігаційна Супутникова Система (ГЛОНАСС). Вони добре виконують позиціонування на відкритих ділянках, але в закритому просторі починають працювати набагато гірше. Більшість досліджень у сфері позиціонування не можуть підвищити точність показників по декільком причинам. Так, наприклад, для ефективної навігації потрібно знати точне положення та орієнтацію об'єкта відносно відомого середовища. Створення сенсорної системи, здатної до сприйняття середовища, а також моніторинг параметрів внутрішнього об'єкта є важливою задачею в області безпілотних мобільних об'єктів. Алгоритми управління розроблені на вершині доступних даних датчиків, тому їх гнучкість та надійність є загальними вимогами. Нещодавно було проведено багато досліджень в області інерціальної орієнтації об'єкта вимірювання. Інерційні одиниці вимірювання - це електронні пристрої, що використовуються для виявлення поточної орієнтації об'єкта. Зазвичай вони вимірюють зміни обертання та прискорення об'єкта. Як вимірювальні пристрої, вони повинні відповідати набору вимог, наприклад, найменший можливий розмір і вага, настроювані відфільтровані вихідні дані. Також особливе значення має мініатюризація пристроїв. Сьогодні все більше і більше досліджень проводяться у всьому світі, щоб зробити сучасні датчики меншими і легшими. Зниження розміру залишається складним завданням для вчених.

Не менш важливим є завдання визначення орієнтації тіла людини в просторі, що дозволить враховувати її позицію. Інша реалізація могла б контролювати рух пацієнтів, щоб виявити, наприклад, ефекти хвороби Паркінсона або вимірювати пульс під час щоденних дій. Це може бути використано як інструмент для виявлення потенційних загроз для літніх людей у домашньому середовищі.

Головною проблемою орієнтації в закритих приміщеннях є зашумлення сигналів через замкнутий простір і безліч перешкод радіохвиль.

**Мета статті -** проаналізувати основні причини перешкод під час передачі даних через Bluetooth та запропонувати шляхи поліпшення точності сигналу для використання в системі позиціонування в середині приміщень.

**Аналіз останніх публікацій.** Залежно від підходів та завдань, методи позиціонування всередині помешкання можуть бути вирішені різними методами (табл. 1).

Одним з найбільш популярних та ефективних методів є вимірювання потужності сигналу (Received Signal Strength Indicator, або RSSI) з використанням Bluetooth LE або Wi-Fi. Принцип дії Bluetooth та Wi-Fi заснований на використанні

радіохвиль. Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в певному діапазоні частот, який використовується в різних побутових приладах і бездротових мережах (відкритий діапазон 2,4-2,4835 ГГц). У Bluetooth застосовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти, що забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод.

Таблиця 1

**Роботи з поліпшення точності сигналу**

| Автори | Рік | Класифікатор | Результат |
|---|---|---|---|
| C.Wang, R. Huang M. Gu, G.Xiao [1] | 2017 | Циркулярно поляризовані антени | Точність 0,003 м та 0,4% - похибка позиціорнув. |
| S.G. Pease, P. Conway, A.A. West [2] | 2017 | Гібридний ToF та RSSI в реальному часі | Max віддаленість ToF - 6m RSSI - 5.1m |
| W. Xue, W. Qiu, X. Hua, K. Yu [3] | 2017 | Wi-Fi RSSI | 6 порогових положень похибки позиції: 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1,0 та 1,3 м відповідно. Точність > 60%. |
| H. Xiao, H. Zhang, Z.Wang, T.A. Gulliver [4] | 2017 | Алгоритм DV-Hop на базі RSSI | R від 15 до 40 м з 20% помилок |

Більшість з розглянутих методів пропонують декілька етапів фільтрації сигналу та обробки її, але на це витрачається багато часу, що робить деякі процеси досить повільними.

**Пропонований підхід.** Оскільки на даний момент, для пристроїв, що функціонують по стандартам Wi-Fi і Bluetooth 4.0, RSSI є єдиним параметром, що дозволяє виміряти відстань від пристрою до базової станції або маяка, в роботі було використано саме показник RSSI. За основу взято Bluetooth з ноутбука, побутові бездротові навушники, які можливо замінити на спеціальні маяки Bluetooth [5].

В якості базового алгоритму позиціонування взикористано Frequency Hopping Spread Spectrum. Відповідно до цього алгоритму (рис. 1), в Bluetooth несуча частота сигналу стрибкоподібно змінюється 1600 разів в секунду (всього виділяється 79 робочих частот шириною в 1 МГц) [6, 7].

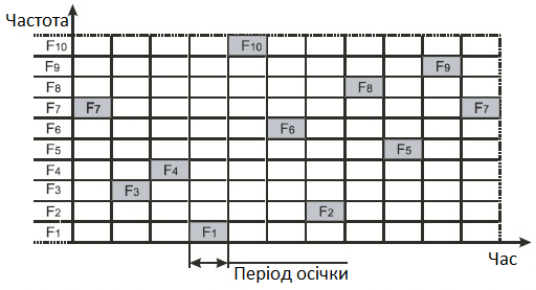



Рис. 1. Принцип дії алгоритму Frequency Hopping Spread Spectrum [6]

З метою виявлення місцерозташування в закритому просторі, пропонується метод, який передбачає декілька точок доступу у статичному положенні і на відомій додатку відстані (рис. 2).

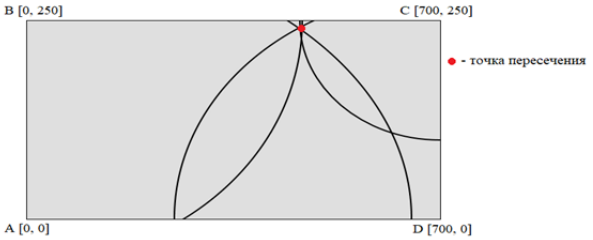



Рис. 2. Виявлення місцерозташування у замкнутому просторі

Ідея методу полягає в наступному. Знаючи відстань від точок, створюємо уявний прямокутник. Після цього скануємо точки на потужність сигналу і зберігаємо отримані результати у базу даних. Дізнавшись відстань від кожної точки, стає можливим знайти місцеположення телефону в уявному прямокутнику. Зібравши достатню кількість даних, можна оцінити місцеположення по усередненому сигналу і перевести його у відстань.

Для переведення RSSI в одиниці вимірювання довжини зазвичай використовується наступна формула:

$$P_d = P_0 - 10 \cdot n \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right),$$

де $P_0$ - потужність сигналу пристрою, виміряна на одиничній відстані, $n$ – коефіцієнт втрат потужності сигналу при розповсюджені в середовищі (для повітря $n = 2$; збільшується за наявності перешкод), $d$ - відстань від пристрою до смартфона, $d_0$ - відстань від пристрою до точки, на якій виконувалось вимірювання потужності сигналу.

Дане рівняння випливає з формули передачі Фріїса для поширення радіосигналу в вільному просторі, але є недостовірним для закритих приміщень [8].

У зв’язку з вищезазначеним, для підвищення точності позиціонування в роботі пропонується використання фільтра Калмана (рис. 3) для послідовності вимірювань. Це дозволить знизити шуми та отримати оцінки невідомих змінних, що є потенційно більш точними за базові на самих лише вимірюваннях.

Де X позначає оцінку стану системи на етапі k до початку врахування k-го виміру $y_k$; P - відповідна невизначеність.

**Експерименти.** Для проведення експериментів використовувалося наступне обладнання:

1. Датчик Bluetooth ноутбуку;
2. Bluetooth навушники;

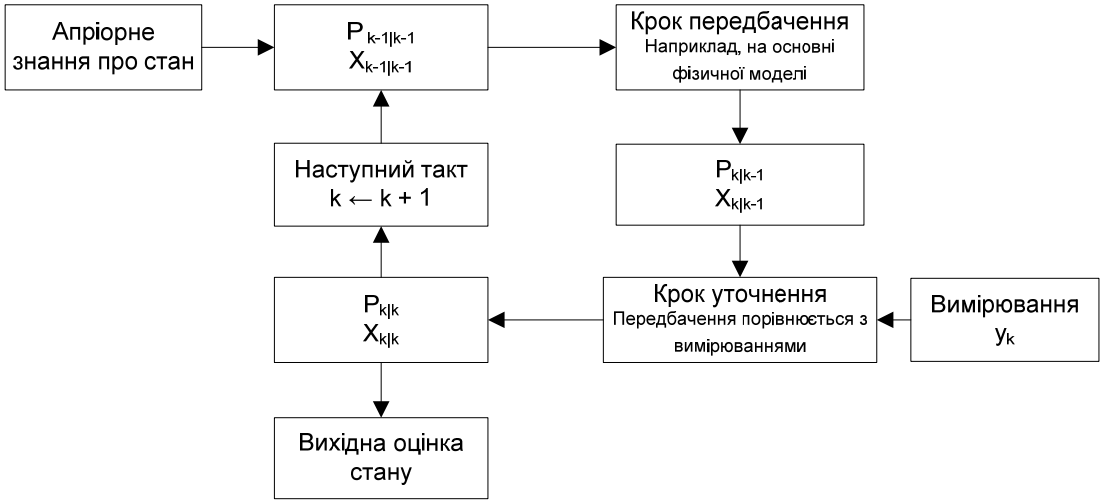



Рис. 3. Принцип дії фільтру Калмана

3. Мобільний телефон на основі OS Android;
4. Лінійка для вимірів.

Вихідні дані. Дані надходять у integer значенні (кожні 5-10 с.) та зберігаються у масиві.

| Час | 5 | 10 | 17 |
|---|---|---|---|
| Дані | [-35] | [-35, -37] | [-35, -37, -36] |

План експерименту. Експеримент складається з пошуку Bluetooth-маяків, в ролі яких виступали Bluetooth-гарнітура та ноутбук. Сам пошук складався з двох етапів:

1. Пошук нерухомого маяку;
2. Пошук рухомого маяку.

Сам пошук відбувався за допомогою мобільного додатку на основі OS Android. Основною задачею цього додатку являється переведення точності сигналу в відстань, а саме на основі даних про точність сигналу розраховується відстань до об’єкту. Для підвищення визначення точності сигналу і використовується фільтр Калмана, так як шуми являються однією з причин неточності даних.

Всі досліди були проведені з маяками, які знаходилися в полі зору, так як маяки, які знаходяться за стінами будуть скриті шумом від цих об’єктів, а для таких розрахунків потрібно використовувати інші моделі та фільтри.

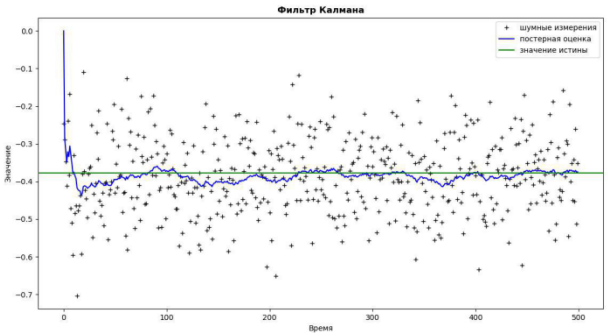



Рис. 4. Результат тестування фільтра Калмана на зашумлення

Було проведено кілька досліджень (рис. 4), завдяки яким можна було вивчити точність даних, що виводяться і правильності настройки системи перетворення сигналу в відстань. Повний пакет вихідних даних на код програми надано у [9].

Точність методу помітно падає, якщо один з пристроїв швидко рухається. Це пов'язано з тим, що між першим і останнім виміром проходить приблизно до 3 секунд. Виходить, що перший вимір відповідає одним координатами, а останні – іншим [10]. Так само на точність сигналу впливають зовнішні чинники, ящо зашумлюють сигнал, серед яких:

1. Деякі зовнішні джерела електричної напруги, такі як лінії електропередач, електрифіковані залізничні колії і силові підстанції;
2. Бездротові передавачі відеосигналу, що працюють в діапазоні 2,4 або 5 ГГц;
3. Коаксіальний кабель і роз'єми, що використовуються з деякими типами супутникових тарілок;
4. Якщо поблизу пристрою Bluetooth або телефону працює мікрохвильова піч;
5. Деякі монітори створюють гармонійні перешкоди, які особливо помітні в діапазоні між 11 і 14 каналами на частоті 2,4 ГГц;
6. Зовнішні жорсткі диски або інші пристрої з недостатньо екранованими кабелями;
7. Заважати роботі пристроїв, підключених по мережі Wi-Fi або Bluetooth, можуть і інші бездротові прилади, що працюють в діапазоні 2,4 або 5 ГГц, зокрема мікрохвильові передавачі, бездротові камери, радіоняні і пристрої сусідів, підключені по Wi-Fi.

Виходить, що для того, щоб змінювати канали передачі даних за допомогою Bluetooth, необхідно всього 625 мікросекунд. Саме вони і є тим інтервалом часу, в якому відбувається передача даних у пакеті. В пакетах в такій ситуації вимірюють потік інформації, що передається, і один пакет може знаходитися «в дорозі» протягом декількох інтервалів (це залежить від розмірів).

Коли пакети будуть передані - частота змінюється [11]. Задіюється зазвичай також і застосування так званої адаптивної стрибкоподібної зміни частот. Її використовують при обмеженні передачі даних з пристроїв, які мають певну кількість каналів. Важливо, що при цьому відкриваються діапазони частот, які можуть бути використані й іншими приладами для передачі інформації. Цим самим можливість ризику при виникненні перешкод частот значно зменшується [12, 13].

Програмний код реалізації фільтрації від зашумлення:

```
    for (int k = 1; k &lt; 100; k++) {
    xhatminus[k] = xhat[k - 1];
    mRSSI[k] = p[k - 1] + q;
    kMas[k] = mRSSI[k] / (mRSSI[k] + r);
    xhat[k] = (int) (xhatminus[k] + kMas[k] *
(mRSSI[k] - xhatminus[k]));
    p[k] = (int) ((1 - kMas[k]) * mRSSI[k]);
    }
```

Програмний код реалізації переведення фільтрованих даних у довжину:

```
    @Override
    public void onBindViewHolder(ViewHolder
holder, int position) {
    holder.tv_device_name.setText("" +
mList.get(position).getDevice().getName());
    holder.tv_device_address.setText("Device
address:" + mList.get(position).getAddress());
    int rssi =
Math.abs(mList.get(position).getRssi());
    if (rssi >= 0 && rssi < 70){
    holder.tv_device_rssi.setText("RSSI(dBm) : -
" + rssi);
    holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.
view.getContext().getResources().getColor(R.col
or.distance_high));
    }else if (rssi >= 70 && rssi < 120){
    holder.tv_device_rssi.setText("RSSI(dBm) : -
" + rssi);
    holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.
view.getContext().getResources().getColor(R.col
or.distance_mid));
    }else if (rssi >= 120){
    holder.tv_device_rssi.setText("RSSI(dBm) : -
" + rssi);
    holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.
view.getContext().getResources().getColor(R.col
or.distance_low));
    }else {
    holder.tv_device_rssi.setText("RSSI(dBm) : -
" + rssi);
    holder.tv_device_rssi.setTextColor(holder.
view.getContext().getResources().getColor(R.col
or.distance_low));
    }
    holder.tv_device_distance.setText("Distanc
e(m) :" + calculateDistance(rssi) + "m");
    holder.tv_device_timestamp.setText("Scan
time:" + mList.get(position).getTimestamp());
    if (mList.get(position).isConnected() ==
true) {
    holder.btn_connect.setText("disconnect");
    holder.btn_connect.setTextColor(holder.vie
w.getContext().getResources().getColor(R.color.
device_connected));
    }else {
    holder.btn_connect.setText("connection");
    holder.btn_connect.setTextColor(holder.vie
w.getContext().getResources().getColor(R.color.
device_disconnected));
    }
    }
```

Реалізація коду переведення RSSI сигналу у дистанцію:

```
    int txPower = -55..-65 // number RSSI
equal to a distance of 1 meter
    double ratio = xhat[99]*1.0/txPower;
    //беремо останнє значення відфільтрованих
даних і переводимо його в метри, спершу
поділивши на значення відстані 1-го метра
    if (ratio &lt; 1.0) {
    srDis = Math.pow(ratio,10);
    }
    else {
    srDis = (0.89976)*Math.pow(ratio,7.7095) +
0.111;
    }
```

На поточний момент розвиток системи направлено на поліпшення часу сканування, оскільки в ході експериментів були виявлені недоліки (точність показників приблизно 90%, а час обробки більше 3 секунд, що є незадовільним результатом) особливо для складних об’єктів з поворотною структурою, а також з товстими стінами. На даний момент програма відрізняється від інших розробок більшим часом обробки сигналу. Точність виявлення об’єкту відповідає аналогічним системам, що представлені в огляді, але за допомогою більш детального оброблення сигналу та збільшення потужності пристрою обробки сигналу цілком можливо її збільшити; крім того можливе здійснення багатопоточної обробки даних та тріангуляції маяків за рахунок збільшення кількості цих самих маяків [15].

**Висновок.** В роботі запропоновано метод виявлення місцезнаходження Bluetooth-маяків у кімнаті. Метод базується на формулі передачі Фріїса, фільтрі Калмана і використанні RSSI. Пропонований підхід дозволяє будувати систему автоматичного позиціонування без додаткових апаратних засобів, але використання BLE маяків (або аналогів) дозволить отримати більше даних і підвищити точність розрахунків. Тестування системи показало, що кількість даних та відстань суттєво впливають на точність локалізації. Представлено результати, які показують, що RSSI забезпечує значно кращу теоретичну точність локалізації вузла, ніж інші добре відомі алгоритми, представлені в літературі, але на практиці зіштовхнулися з неточністю розрахунків, на які могла впливати більша кількість шумів, ніж було розраховано попередньо.

В перспективі планується додавання можливості вимірювання висоти для отримання даних про положення пристрою відносно поверху будинку, покращення програмного та апаратного забезпечення. Також залишаються питання поліпшення якості локалізації, зменшення часу

обробки сигналу та розвиток більш компактної Bluetooth системи з видачею інформації у найкоротший час.

**Література**


1. Wang C. RSSI-based indoor location with circularly polarized antennas and LUDM algorithm for wireless sensor network / C. Wang, R. Huang, M. Gu, G. Xiao // 2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). – 2017.
2. Pease S.G. Hybrid ToF and RSSI real-time semantic tracking with an adaptive industrial internet of things architecture / S. G. Pease, P.P. Conway, A.A. West // Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – vol. 99. – pp. 98–109.
3. Xue W. Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization. / Xue, W., Qiu, W., Hua, X., & Yu, K. (2017). IEEE Sensors Journal. – 2017. – vol. 17(7), 2224–2230.
4. Xiao, H., Zhang, H., Wang, Z., & Gulliver, T. A. (2017). An RSSI based DV-hop algorithm for wireless sensor networks. 2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM).
5. Kajioka S. Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon / S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi, H. Matsuo // 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). – 2014. – pp. 337-339.
6. Метод FHSS [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan_metod_fhss.php (23.10.2018).
7. Розширення спектру стрибкоподібної перебудовою частоти [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://iptcp.net/rasshirenie-spektra-skachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html(23.10.2018).
8. Wang Y. Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods / Y. Wang, Xu Yang, Y. Zhao, Y. Liu, L. Cuthbert // 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). – 2013.
9. Севост'янов О.Р. Програмний код тестування [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: https://github.com/AS-13/test-Kalman-filter
10. OFDM FHSS и DSSS [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/ (23.10.2018).
11. Bandara U. Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system / U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, T. Aoyama // Proceedings. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference (IEEE Cat. No.04TH8746). – 2004.
12. Pascoe R., Miller B. Mapping Salutation Architecture APIs to Bluetooth Service Discovery Layer / Bluetooth Special Interest Group, 1999. – 26 p.
13. Wi-Fi выдает координаты смартфона с точностью до 65 см. Исследование из Массачусетского технологического института (MIT) [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: https://xakep.ru/2016/04/05/chronos-wi-fi/ (23.10.2018).
14. Simon H. Bluetooth Tracking without Discoverability / H. Simon, R. Harle // houdhury T., Quigley A., Strang T., Suginuma K. (eds) Location and Context Awareness. LoCA 2009. Lecture Notes in Computer Science. – 2009. – vol 5561. – pp. 120-137.
15. Ahmetovic D. Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes / D. Sato, H. Takagi, K. M. Kitan // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), At Athens, Greece - 2018. - pp.


**References**


1. Wang C. RSSI-based indoor location with circularly polarized antennas and LUDM algorithm for wireless sensor network / C. Wang, R. Huang, M. Gu, G. Xiao // 2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP). – 2017.
2. Pease S.G. Hybrid ToF and RSSI real-time semantic tracking with an adaptive industrial internet of things architecture / S. G. Pease, P.P. Conway, A.A. West // Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – vol. 99. – pp. 98–109.
3. Xue W. Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization. / Xue, W., Qiu, W., Hua, X., & Yu, K. (2017). IEEE Sensors Journal. – 2017. – vol. 17(7), 2224–2230.
4. Xiao, H., Zhang, H., Wang, Z., & Gulliver, T. A. (2017). An RSSI based DV-hop algorithm for wireless sensor networks. 2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM).
5. Kajioka S. Experiment of indoor position presumption based on RSSI of Bluetooth LE beacon / S. Kajioka, T. Mori, T. Uchiya, I. Takumi, H. Matsuo // 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). – 2014. – pp. 337-339.
6. Метод FHSS [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://it-servis.ru/dokum/lan/wlan_metod_fhss.php (23.10.2018).
7. Розширення спектру стрибкоподібної перебудовою частоти [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://iptcp.net/rasshirenie-spektra-skachkoobraznoi-perestroikoi-chastoty.html(23.10.2018).
8. Wang Y. Bluetooth positioning using RSSI and triangulation methods / Y. Wang, Xu Yang, Y. Zhao, Y. Liu, L. Cuthbert // 2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). – 2013.
9. Sevostyanov O.R. Source Code. Available from: https://github.com/AS-13/test-Kalman-filter (26 Nov. 2018).
10. OFDM FHSS и DSSS [Електронне видання] – Режим доступу www. URL: http://it-wave.ru/background/technology/ofdm-fhss-and-dsss/ (23.10.2018).
11. Bandara U. Design and implementation of a Bluetooth signal strength based location sensing system / U. Bandara, M. Hasegawa, M. Inoue, H. Morikawa, T. Aoyama // Proceedings. 2004 IEEE Radio and Wireless Conference (IEEE Cat. No.04TH8746). – 2004.
12. Pascoe R., Miller B. Mapping Salutation Architecture APIs to Bluetooth Service Discovery Layer / Bluetooth Special Interest Group, 1999. – 26 p.
13. Wi-Fi выдает координаты смартфона с точностью до 65 см. Research from MIT. Available from: https://xakep.ru/2016/04/05/chronos-wi-fi/ (23.10.2018).
14. Simon H. Bluetooth Tracking without Discoverability / H. Simon, R. Harle // houdhury T., Quigley A., Strang T., Suginuma K. (eds) Location and Context Awareness. LoCA 2009. Lecture Notes in Computer Science. – 2009. – vol 5561. – pp. 120-137.

15. Ahmetovic D. Smartphone-based Indoor Localization for Blind Navigation across Building Complexes / D. Sato, H. Takagi, K. M. Kitan // IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), At Athens, Greece - 2018. - pp.

**Севостьянов А.Р., Скарга-Бандурова И.С., Ардель А.В. Отслеживание RSSI в реальном времени с маяков Bluetooth для улучшения точности позиционирования в помещениях**

*В работе представлены основные этапы разработки и тестирования системы позиционирования в закрытом пространстве с помощью Bluetooth передатчиков и приложения на смартфоне. Принцип действия системы основан на алгоритме Frequency Hopping Spread Spectrum и формуле передачи Фриис. Проведена серия экспериментов по оценке точности данных и правильности перевода сигнала в расстояние. С целью улучшения точности позиционирования внутри помещений в работе использован фильтр Калмана. В результате, получена точность обнаружения объекта до 90%, а время обработки сигнала более 3 секунд. Сделан вывод, что в дальнейшем есть возможность улучшить эти показатели с помощью более детальной обработки сигнала и увеличения мощности устройств обработки сигнала в телефоне.*

***Ключевые слова:*** *Bluetooth, RSSI, система позиционирования, обработка данных.*

**Sevostyanov O.R., Skarga-Bandurova I.S., Ardel O.V. Real-time RSSI tracking from Bluetooth beacons to improve indoor positioning accuracy**

*The paper presents the main stages of the development and testing of a positioning system in an enclosed space using Bluetooth transmitters and an application on a smartphone. The principle of the system is based on the Frequency Hopping Spread Spectrum algorithm and the Friis transmission formula. A series of experiments to assess the accuracy of the data and the correctness of the transfer signal in the distance are performed. In order to improve the accuracy of indoor positioning, a Kalman filter was used in the work. As a result, the accuracy of object detection is obtained up to 90%, and the signal processing time is more than 3 seconds. It was concluded that in the future it is possible to improve these indicators with the help of more detailed signal processing and an increase in the power of signal processing devices in the phone.*

***Keywords:*** *Bluetooth, RSSI, positioning system, data processing.*

**Севост'янов Олександр Романович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: torresanya94@gmail.com

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

**Ардель Олександр Вікторович,** аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: aleksandrardel@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., доц. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 25.10.20182018

УДК 004.414

# РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ АВТОМОБІЛЬНОГО РИНКУ УКРАЇНИ

**Соловйов В.А., Сафонова С.О.**

# DEVELOPMENT OF THE INFORMATION AND STATISTICAL SYSTEM AT THE CASE OF AUTOMOBILE MARKET OF UKRAINE

**Solovjov V., Safonova S.**

*У статті розглянуто питання автоматизованого пошуку інформації на прикладі автомобільного ринку України. Розглянуті аналоги, які можливо використовувати для рішення проблеми пошуку інформації. Надані рекомендації щодо розробки інформаційно-статистичної системи у вигляді програмного додатку. Розроблено та розглянуто основний алгоритм роботи додатку.*

***Ключові слова:*** *інформаційна модель, база даних, пошук інформації, аналіз інформації.*

**Вступ.** Розробка програмного забезпечення (ПЗ), яке вирішує проблеми пошуку та автоматизованої обробки інформації, нині дуже потрібна й актуальна. Великі обсяги інформації змушують користувачів таких сайтів витрачати все більше і більше часу на її вивчення. Представлене програмне забезпечення дозволяє володіти певною інформацією і не витрачати на це час.

**Постановка проблеми.** Для моніторингу або пошуку необхідної інформації людина може витратити дуже багато часу. Також необхідна інформація може бути випадково пропущена або втрачена у результаті великого обсягу даних. У зв’язку з цим розробка спрямована на пошук способу швидкого та автоматизованого збору великого обсягу даних за допомогою електронно-обчислювальної машини.

**Мета статті.** Для полегшення роботи з інформацією проаналізувати предметну область галузі та наявні рішення, розробити алгоритм програмного додатку для вирішення проблеми.

**Основний текст.** Останні роки в Україні спостерігається сплеск активності створення різних сайтів з продажу одягу, техніки, нерухомості, авто. Використання таких систем змушує програмістів писати все нові й нові системи управління сайтами для того, щоб максимально полегшити їх використання та зручність роботи з великими наборами даних, з якими так чи інакше стикаються інтернет-продавці. Якщо у сайту є список товарів, значить в тому чи іншому вигляді є база даних з інформацією, з якою працює система управління сайту. Недолік будь-якої такої системи управління сайтом це її код. Система управління сайтом автоматично генерує сторінки з товаром згідно з шаблоном. З цього випливає, якщо є шаблон, то є можливість написати «зворотню» програму, яка зможе розібрати цей шаблон на початкові складові та використовувати їх за своїм призначенням. Такі програми називаються парсери даних.

Парсер сайтів - послідовний синтаксичний аналіз інформації, яка розміщена на інтернет-сторінках. Текст інтернет-сторінок – це ієрархічний набір даних, структурований за допомогою людських і комп'ютерних мов. Людською мовою надана інформація, знання, заради яких люди й користуються Інтернетом. Комп'ютерні мови (html, JavaScript, css) визначають як інформація виглядає на моніторі.

Парсинг сайтів є ефективним рішенням для автоматизації збору і зміни інформації.

У порівнянні з людиною комп'ютерна програма-парсер:

- швидко обійде тисячі веб-сторінок;
- акуратно відокремить технічну інформацію від «людської»;
- безпомилково відбере потрібне і відкине зайве;
- ефективно упакує кінцеві дані в необхідному вигляді.

Результат (будь то база даних або електронні таблиці), звичайно ж, потребує подальшої обробки. Втім, подальші маніпуляції із зібраною інформацією вже до теми парсинга не належать.

Навіщо потрібен парсинг?

Таблиця

**Порівняльний аналіз додатків-аналогів**

| Назва додатку | Переваги | Недоліки | Ціна | Моя оцінка (0-5) | Примітка |
|---|---|---|---|---|---|
| Datacol | Широкі можливості налаштування, помічник складання рядків з інформацією, можливість автоматизації постинга даних на свій сайт, розширення функціональності за допомогою плагінів | Дуже заплутаний інтерфейс, розібратися в програмі дуже складно, отримання даних методом POST | $28 за три місяці використання | 3 | Datacol вміє отримувати сторінки тільки методом GET. На деяких сайтах при посиланні форми використовується метод POST і в цьому випадку не можливо скористатися цією програмою |
| X-Parser Light | Зручний графічний інтерфейс, швидка праця, інтелектуальний алгоритм обробки тексту | Орієнтовність на пошукові системи (Google,Yahoo) та сайти новин, ціна | $45 | 4 | Спрямована фактично на «ключові запити» та сайти з новинами. Trial 7 діб |
| Content Downloader X1 | Зручний інтерфейс, вміє парсити не тільки текст, але й зображення або файли, виготовлена в Україні, підтримка авторизації на сайтах | Великий та складний комбайн для парсингу, швидкість роботи | $20 рік | 5 | Багато зайвого для рішення поставленої задачі |

Створюючи веб-сайт, його власник неминуче стикається з проблемою - де брати контент? Оптимальний варіант: знайти інформацію там де її дуже багато - в Інтернеті. Але при цьому доводиться вирішувати такі завдання:

- Великі обсяги. В епоху бурхливого зростання Мережі та жорстокої конкуренції вже всім ясно, що успішний веб-проект немислимий без розміщення великої кількості інформації на сайті. Сучасні темпи життя призводять до того, що контенту має бути не просто багато, а дуже багато, в кількостях, які набагато перевищують межі, можливі при ручному заповненні.
- Часте оновлення. Обслуговування величезного потоку динамічно мінливої інформації несила забезпечити одна людина або навіть злагоджена команда операторів. Часом інформація змінюється щохвилини й в ручному режимі оновлювати її навряд чи доцільно.

У нашому випадку, інформацію яку оброблює парсер потрібно записати у базу даних та повідомити про появу нового запису. Повідомляти про новий запис можливо різними шляхами, але ми будемо це робити за допомогою email повідомлення.

Будемо створювати парсер з функцією повідомлення про появи нових записів. Нижче наведено приклад розробленого парсеру з можливістю інформування щодо отриманої інформації на прикладі автомобільного ринку.

Програма являє собою парсер даних з автомобільного сайту rst.ua. Початкове завдання парсера було в пошуку та повідомленні мене поштою про розміщені авто в моєму місті та містах поблизу. Завдання на момент написання програми - купити авто максимально дешево і дізнатися про це одним з перших. Це і є ідея додатку. Особливістю програми є можливість працювати на будь-якій системі, де є інтерпретатор Python і вихід в інтернет. Модуль з графічним інтерфейсом має обмежену можливість у роботі тільки з тими системами, де підтримується графічний інтерфейс і можливості управління. Програму не складно змінити для роботи з нерухомістю або з іншими майданчиками, тому що вони мають схожий принцип роботи управління сайтами. Для правильної й повної функціональності програма повинна працювати цілодобово.

Нижче представлено порівняльний аналіз додатків-аналогів.

**Постановка задачі**

Проаналізувавши програми аналоги, було прийнято рішення написати свій варіант тому що:

1. Інтерфейс деяких аналогічних додатків переповнений.
2. Всі додатки працюють тільки в операційній системі Windows.
3. Shareware.
4. Деякі із додатків не використовують класичні бази даних, а зберігають отриману інформацію у своїх форматах.
5. Інтерфейс та ядро додатку не відокремлено.
6. Не мають можливості працювати в термінальному режимі без графічного інтерфейсу.

Тому було прийнято рішення створити власне програмне забезпечення, яке має відповідати таким вимогам:

1. У ПЗ повинен бути простий інтерфейс (для конфігуратора).
2. Ядро та інтерфейс повинні бути відокремленими.
3. ПЗ повинно мати можливість працювати у термінальному режимі.

4. ПЗ повинно працювати на платформі Linux / Windows / MacOs..

5. ПЗ повинно вміти завантажувати html сторінки, а так само аналізувати дані та вибирати інформацію, яка необхідна для подальшої роботи.

6. ПЗ повинно зберігати інформацію в класичну базу даних і обробляти її за певними алгоритмами.

7. ПЗ повинно мати можливість відправляти повідомлення на електронну поштову скриньку відразу після поновлення інформації.

8. ПЗ повинно мати можливість налаштування електронної поштової скриньки, з якої буде відправлятися інформація.

9. Додаток повинен мати можливість вибирати, яку саме інформацію надсилати на електронну поштову скриньку.

10. Додаток повинен мати інтерфейс для перевірки інформації за певними даними. У нашому випадку це номер телефону продавця, після введення якого ми отримаємо інформацію.

11. ПЗ повинно мати простий і зрозумілий інтерфейс додавання сторінок, які будуть оброблятися.

12. ПЗ повинно правильно реагувати на позаштатні ситуації, наприклад: відсутність інтернету, втрата файлу бази даних та інше.

Для реалізації даного програмного забезпечення можна вибрати такі мови програмування, як php, python, C #, C ++. Ці мови програмування досить різні. Php - це поширена мова програмування загального призначення з відкритим вихідним кодом. PHP сконструйований спеціально для ведення Web-розробок і її код може впроваджуватися безпосередньо в HTML. Python - це одна з найбільш популярних сучасних мов програмування. Вона придатна для вирішення різноманітних завдань і пропонує ті ж можливості, що й інші мови програмування: динамічність, підтримку ООП і крос-платформеність. C# - мова програмування, призначена для розробки найрізноманітніших додатків, призначених для виконання в середовищі .NET Framework. C # проста та об'єктно-орієнтована. C ++ - компільована строго типізована мова програмування загального призначення. Підтримує різні парадигми програмування: процедурну, узагальнену, функціональну; найбільшу увагу приділено підтримці об'єктно-орієнтованого програмування.

Графічний інтерфейс залежить від реалізації. Якщо писати програму мовою програмування php, то інтерфейс буде повністю написаний на html + css. Якщо мовою програмування python, C ++ або C #, то однозначно вибором буде Qt. Розглядати інші побудови графічного інтерфейсу немає сенсу.

Для завантаження html сторінок можна використовувати такі засоби як Selenium, однак, на мій погляд, це ускладнить програму. В разі використання мов C++, C# краще використовувати бібліотеки curl. Php має власні вбудовані засоби для обробки та завантаження html сторінок. У разі мови програмування python можна використовувати бібліотеки urllib або request. Для синтаксичного розбору html коду існує ряд різних бібліотек. Для C++, C# - це htmlcxx, для php - це Simple HTML DOM, в python використовуються такі бібліотеки як lxml, BeautifulSoup, Grab. Для того, щоб повідомляти клієнта про нову інформацію, найпростішим і найзручнішим є формування та посилання електронного листа. Найпростіша реалізація такого завдання за допомогою мови програмування php - така можливість реалізована на рівні стандартної бібліотеки mail (). У мові програмування C++ - це бібліотека SMTP-Client (досить складно і невдало реалізована). В мові програмування C# є бібліотека mail send. Реалізована вона набагато краще, ніж в C++. Мова програмування python має бібліотеку smtplib, яка дозволяє надати листу практично будь-який вид. Регулярні вирази. Регулярні вирази - це широковживаний спосіб опису шаблонів для пошуку тексту. Спеціальні метасимволи дозволяють визначати, наприклад, що шукається підстрока на початку вхідного рядка або певне число повторень підрядка. У мові програмування php є вбудована бібліотека для роботи з регулярними виразами. C++ має цілу низку бібліотек для цих цілей: boost, cpp_regex, poco, pcre. C# має у своєму арсеналі вбудовану бібліотеку Regular Expressions. Мова програмування python має бібліотеку - re. База даних. База даних має дуже вагоме значення в роботі програмного забезпечення. Вся інформація, яка потрібна для роботи програмного забезпечення, зберігається в базі даних. Вибір був між mysql і sqlite3. Будь-яка з запропонованих мов програмування дозволяє реалізувати роботу з цими видами баз даних без особливих проблем. Таким чином, визначено приблизний набір бібліотек і мов програмування, які дозволять написати ПЗ найбільш правильно і зручно для програміста і клієнта.

**Алгоритм роботи додатку**

В програмі використовуються 2 основних алгоритми:

1. алгоритм завантаження сторінок сайту rst.ua з наступною обробкою;
2. алгоритми завантаження сторінок автомобілів з подальшим розбором інформації.

Додатковий модуль, відповідальний за показ статистичної інформації, теж містить в собі один алгоритм.Зауважую, що наведені нижче назви бібліотек належать до мови програмування Python. Перший алгоритм завантаження сторінок сайту rst.ua з наступною обробкою:

1. За допомогою вбудованих засобів бази даних sqlite3 зчитується інформація про веб посилання, назву міста, тип оголошення, посилання повідомлення, кількість автівок, знайдених раніше, та інша інформація.

2. Далі бібліотека urllib переходить за веб посиланням, отриманим в пункті 1, і завантажує html-сторінку.

3. Завантажена html-сторінка передається далі й за допомогою бібліотеки beautifulsoup розбирається на компоненти, відокремлюючи при цьому текст, посилання, зображення та іншу інформацію. Для вирішення постановленої задачі бібліотека beautifulsoup на виході дає таку інформацію як: марка автомобіля, його вартість, час розміщення автомобіля, рік випуску, місто розміщення автомобіля, посилання на більш детальний опис.

4. Отримана в пункті 3 інформація за допомогою бібліотеки sqlite3 записується в базу даних та містить у собі поля: назва авто, ціна, рік випуску, час розміщення, дата розміщення, місто та посилання на сторінку з інформацією.

5. Після запису інформації в базу даних програма переходить до завантаження 2 і 3 html-сторінки з автомобілями. Таким чином дії повторюються з пункту 2.

6. Якщо інформація отримана в пункті 1 говорить про те, що місто є великим за населенням, тоді завантажується 4 і 5 сторінки з автомобілями в даному місті.

7. Алгоритм звертається до отриманої інформації в розділі 1, а точніше інформації про кількість машин в місті перед початком обробки сторінок, і порівнює її з кількістю машин, яка отримана після поточної обробки. Якщо кількість знайдених машин відрізняється від кількості машин записаних в базі даних по оброблюваному місту, то згідно з отриманою інформацією пункту 1 відправляється або не відправляється email повідомлення про нове авто. У випадку, якщо інформація не відправляється, вона просто записується у базу даних. Вигляд повідомлення представлено на рисунку 1.

8. Цикл починається знову до тих пір, поки не закінчиться список веб посилань для обробки.

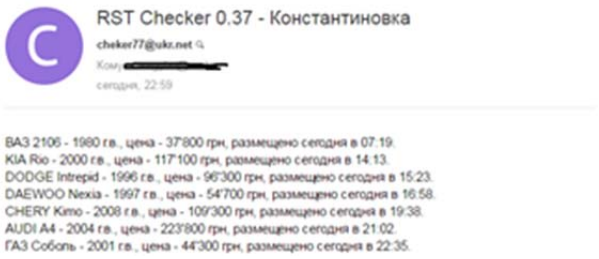



Рис.1. Зовнішній вигляд повідомлення

Для коректної роботи програми алгоритм необхідно запускати кожні 10-15 хвилин. Таким чином, можливо отримувати актуальну інформацію вчасно, до того ж знижується шанс втратити потрібний автомобіль. Робота другого алгоритму неможлива без відпрацювання першого алгоритму, оскільки другий алгоритм використовує інформацію отриману за допомогою першого алгоритму. Другий алгоритм завантаження сторінок автомобілів з подальшим розбором інформації:

1. За допомогою вбудованих засобів бази даних sqlite3 зчитується інформація про веб посилання знайдених у першому алгоритмі автівок.

2. За допомогою бібліотеки urllib завантажується html-сторінка кожного автомобіля для подальшого синтаксичного розбору.

3. За допомогою бібліотеки beautifulsoup отримана інформація аналізується й обробляється. На виході отримуємо таку інформацію як: модель автомобіля, ціна, рік випуску, пробіг, тип двигуна, тип коробки передач, ім'я власника автомобіля, його номер телефону, а також його опис.

4. За допомогою бібліотеки sqlite3 отримана інформація (а саме тип авто, ціна, рік випуску, двигун, тип трансмісії, кілометраж, а також ім'я та телефон продавця) записується до бази даних.

Для найбільш повної роботи цього алгоритму рекомендується запускати його вночі, тому що вдень перший алгоритм збирає багато інформації, яку краще обробити вночі, коли люди не продають автомобілі.

Останній алгоритм виводить всю статистичну інформацію користувачеві. Третій алгоритм на відміну від перших двох дуже тісно пов'язаний з графічним інтерфейсом (рисунок 2).

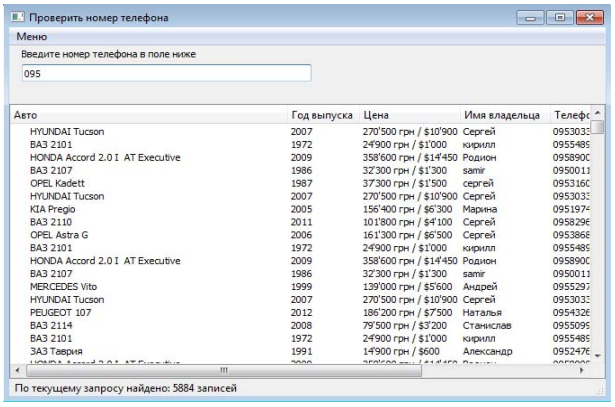



Рис. 2. Перевірка номерів

Опис алгоритму:

1. Після запуску програми перевірки номера телефону по базі даних алгоритм очікує введення номера телефону у відповідному полі.

2. Як тільки вводиться хоча б одна цифра, алгоритм відразу звертається до бази даних і шукає всі номери телефонів, які починаються або містять в собі введену цифру.

Алгоритм виводить інформацію за допомогою графічного інтерфейсу користувача (рисунок 2). Після розробки алгоритмів роботи програми можна приступити безпосередньо до реалізації кінцевого продукту.

**Висновки.** У статті були розглянуті питання пошуку, збору та аналізу інформації за допомогою різних програмних додатків та алгоритмів. Було прийнято рішення створити більш спеціалізований

додаток для пошуку та роботи з інформацією на прикладі автомобільного ринку України на основі описаних алгоритмів. Розроблений алгоритм та поняття проблематики є основою для створення ефективного програмного засобу.

Розробивши додаток можливо вирішити такі проблеми як:

1. Збереження часу людини
2. Повідомлення про нове оголошення
3. Швидкий та автоматизований пошук інформації
4. Ведення історії автівок, які продавались
5. Ведення історії продавців за номером телефону
6. Зниження до 0% фактору людської помилки

**Література**

1 . Python. Detailed Reference, 4th Edition, David M. Beezli, 2012 ISBN: 978-5-93286-157-8., 864 с.
2. Mark Lutz - "Study Python" 4th edition 2010, Ill. ISBN: 978-5-93286-159-2
3. Когаловский, М. Р. Энциклопедия технологий баз данных. М.: Финансы и статистика, 2002. 800 с. ISBN 5-279-02276-4.
4. Korneev V.V. Databases. Intellectual processing of information / VV Korneev, AF Gareev, SV Vasyutin, VV Reich - M .: Publisher SV Molchacheva, Publishing House, 2001.

**References**

1 . Python. Detailed Reference, 4th Edition, David M. Beezli, 2012 ISBN: 978-5-93286-157-8., 864 p.
2. Mark Lutz - "Study Python" 4th edition 2010, Ill. ISBN: 978-5-93286-159-2
3. Kongalovsky M.R. Encyclopedia of databases technologies. - Moscow: Finance and Statistics, 2002. - 800 s .: ill. ISBN 5-279-02276-4.
4. Korneev V.V. Databases. Intellectual processing of information / VV Korneev, AF Gareev, SV Vasyutin, VV Reich - M .: Publisher SV Molchacheva, Publishing House, 2001

**Соловьев В.А., Сафонова С.О. Разработка информационно-статистической системы на примере автомобильного ринка Украины**

*В статье рассмотрены вопросы автоматизированного поиска информации на примере автомобильного рынка Украины. Рассмотрены аналоги, которые можно использовать для решения проблемы поиска информации. Предоставлены рекомендации по разработке информационно-статистической системы в виде программного приложения. Разработан и рассмотрен основной алгоритм работы приложения.*

***Ключевые слова:*** *информационная модель, база данных, поиск информации, анализ информации.*

**Solovjov V., Safonova S. Development of the information and statistical system at the case of automobile market of Ukraine**

*The article discusses the issues of automated information search on the example of the automotive market of Ukraine. Considered analogues that can be used to solve the problem of information retrieval. Provided recommendations for the development of information and statistical system in the form of software applications. Developed and reviewed the basic algorithm of the application.*

***Keywords:*** *information model, database, information search, information analysis.*

**Сафонова Світлана Олександрівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. safonovasa@ukr.net

**Соловйов Владислав Андрійович** – студент групи КІ-17зм; Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. msienery@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Чернецька-Білецька Н.Б.***

Стаття подана 30.11.2018

УДК 629.5.064.5: 621.311

# МЕТОД И ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

**Шевченко В.А.**

# SHIPS ELECTRICAL POWER PLANT CONTROL SYSTEM TOP LEVEL ALGORITHM SYNTHESIS METHOD AND SPECIFICS

**Shevchenko V.**

*Предложен метод построения систем управления судовыми электростанциями, базирующийся на применении графов состояний, результатных функций и языка логических схем алгоритмов. Получена структура и информационные связи управляющей системы четырех агрегатной электростанции неоднородной структуры. Построены графы состояний локальных подсистем дизель- и валогенераторов, а также в целом электростанции. Синтезированы алгоритмы верхнего уровня системы управления электростанцией, позволяющие решать задачи, связанные с оптимизацией управления и адаптацией электроэнергетической системы в нормальных и аварийных режимах.*

***Ключевые слова**: судовая электроэнергетическая система, верификация, граф состояний, синтез алгоритмов.*

**Введение.** Непрерывное развитие торгового и специализированного флота влечет за собой рост мощности и усложнение конфигурации судовых электроэнергетических установок (СЭЭС) [1]. Такие изменения требуют совершенствования систем управления СЭЭС с целью повышения их эффективности по таким критериям как экономичность и экологичность, не в ущерб надежности и бесперебойности электроснабжения [2].

Поскольку управление представляет собой процесс сбора, обработки и передачи информации, то всякий раз сутью разработки новой автоматизированной системы управления электроэнергетической системой (АСУ ЭЭС) должно быть совершенствование потоков информации, а также системы выработки и принятия оперативных решений.

Главной и наиболее трудоемкой задачей при анализе и синтезе любой автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) является описание на формальном языке функционирования АСУ и определение основных ее характеристик. Этот этап называют алгоритмическим синтезом (анализом). Он начинается с решения задач, связанных с определением архитектуры АСУ ЭЭС, установлением основных принципов взаимодействия АСУ и ЭЭС, определением особенностей обмена информации между частями системы (подсистемой, аппаратурой и т.д.) [3].

В работах [4,5] положено начало исследованию принципов построения и описания систем управления СЭЭС в части верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией.

Ряд работ [6-8] посвящено разработке и оптимизации режимов работы СЭЭС, где отмечена необходимость исследований в части совершенствования не только главной управляющей системы верхнего уровня, но и локальных подсистем управления вало- и дизель-генераторами.

Совершенствование алгоритмического обеспечения в комбинации с использованием современной цифровой техники в судовой электроэнергетике дает большие возможности в развитии автоматизации процессов управления, контроля и защиты особенно на судах с комбинированными и гибридными электрическими пропульсивными комплексами [9-11], а также на судах с системами динамического позиционирования [12,13], где электроэнергетическая система зачастую неразрывно связана с электрическим пропульсивным комплексом.

**Целью работы** является поиск метода и синтез алгоритмов верхнего уровня двухуровневой распределенной системы управления судовой электростанцией.

**Изложение основного материала исследования.** При решении данной задачи будем руководствоваться принципами и методологией

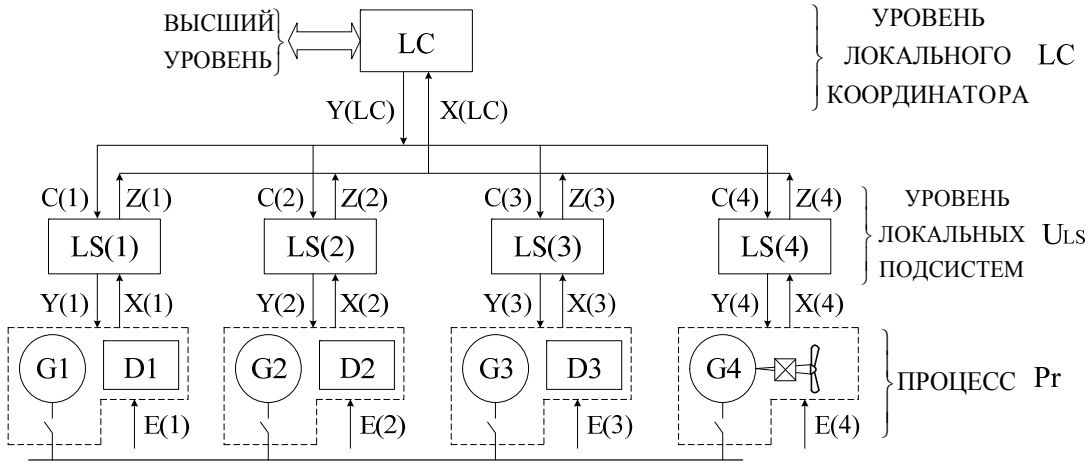



Рис. 1. Структура и информационные связи управляющей системы

построения АСУ ЭЭС, сформулированными в [4] и методами описания, рассмотренными в [5].

В качестве объекта управления примем электростанцию, содержащую три ДГ и один ВГ, рассматривая его, как наиболее перспективный вариант комплектации СЭЭС.

Опираясь также на результаты работ [3,7], выберем в качестве системы управления многомашинную МП систему с распределенной двухуровневой иерархической структурой, рис. 1.

На нижнем уровне (уровень локальных подсистем $U_{LS}(i)$, $i \in \overline{1,4}$ ) в каждой $LS(i)$ подсистеме предопределим решение таких задач как: организация выборки и ввод данных процесса (*INP*); измерение рабочих параметров генераторных агрегатов (ГА) и параметров электроэнергии (*MS*); формирование аварийно-предупредительных сигналов (*EM*) и видеоинформации (*VD*); управление горячим резервом (*HRS*); управление процессами пуска (*ST*), остановки (*SP*), синхронизации (*SY*), защитами и блокировками (*BC*) своего ГА, выполнение команды на распределение (*SH*) или сброс (*UNL*) нагрузки.

Верхнему уровню (уровень локального координатора *LC*) предопределим задачи, связанные с оптимизацией управления и адаптацией электроэнергетической системы в нормальных и аварийных режимах электростанции. При этом глобальная задача в соответствии с принципом сосредоточения функций должна быть направлена на обеспечение гарантированного электроснабжения во всех режимах.

Декомпозиция и решение задачи синтеза системы унифицированных алгоритмов, предписанных принципом сосредоточения, рассмотрены в [5], поэтому здесь эту задачу сформулируем в виде обобщенной результатной функции:

$$RF(N(a) \to N(b)) \simeq$$
$$R\,(OVL,UDL,EM,SQ,MIN,D) \to$$
$$\to (WR : ST(k),SP(l),\ SH(i,k),UNL(i,k)),$$

т.е. переход от состава $N(a)$ параллельно работающих ГА к составу $N(b)$ определяется некоторой вычислительной функцией $R$, в результате решения которой $LC$ формирует (*WR* – записывает) такие команды как пуск (*ST*) $k$-го, остановка (*SP*) $l$-го ГА, распределение нагрузок $SH(i,k)$ между $i$-ым и $k$-ым ГА или сброс (перевод) $UNL(i,k)$ нагрузки с $i$-го на $k$-ый ГА. Аргументами функции $R$ являются предикаты, истинность которых имеет место: при достижении нагрузки СЭС верхнего (*OVL*) или нижнего (*UDL*) предела; при аварийном (*EM*) состоянии отдельного или группы ГА; определенной последовательности (*SQ*) включения/отключения ГА в определенном ограничении по минимально допустимому количеству ГА в режиме (*MIN*), а также дополнительных требований (*D*) .

С учетом требований к исследуемым системам автоматизации [3] следует отметить, что класс жестко предписанных принципом сосредоточения функций управления должен быть дополнен свойствами адаптации и оптимизации. Поэтому при определении текущего значения верхнего порога загрузки СЭС целесообразно предусмотреть влияние метеоусловий. Опыт эксплуатации показывает, что предельно допустимая нагрузка ДГ во многом зависит от температуры, давления и влажности окружающей среды. В связи с этим при оценке порога загрузки (OVL) целесообразно вводить коррекцию используя, например, зависимости [14] К. Циннера. Больших преимуществ в плане повышения технико-экономических показателей СЭС можно добиться управлением соотношения собственных параметров ДГ [15], решая задачи, связанные с обеспечением минимума расхода топлива и износа отдельных деталей, снижением интенсивности нагарообразования и др. В этом же плане представляется весьма эффективным применение алгоритмов диагностирования параметров, обладающих достаточно высоким уровнем информативности – это температура газов по цилиндрам $TG(i)$, текущее значение удельного

расхода топлива $FL(i)$ положение рейки топливных насосов $RK(i)$ и др. Сопоставляя эти параметры, можно контролировать исправность топливной аппаратуры, определять состояние ГА и возможность эксплуатации его в зонах, близких к заградительным характеристикам, повышая таким образом коэффициент использования дизеля.

Целесообразной также является оптимизация работы АСУ СЭЭС в части повышения быстродействия измерения и диагностики электрических параметров [16] с целью своевременной ее адаптации и реконфигурации.

В общем виде управление, реализующее функции оптимизации и адаптации СЭС, можно представить результатной функцией:

$$RF(OPT) \simeq R(PW(i), FL(i), RK(i), TG(i), K(i), D) \to (WR : PH(i), SH(i), DOP),$$

т.е. оптимальный режим работы СЭС определяется в процессе анализа вычислительной функции $R$, что дает возможность найти оптимальный верхний порог загрузки каждого ГА $PH(i)$, осуществить рациональное распределение нагрузок между ГА $SH(i)$, а также выдать нужные оператору сообщения и рекомендации $DOP$.

Теперь рассмотрим некоторые задачи, связанные с разработкой информационной модели и алгоритмического обеспечения, вводя следующие правила функционирования: $S = \mathrm{U}_{LS}(i)\,\mathrm{U}_{LC}, i \in \overline{1,4}$ – объединение четырех локальных подсистем (ЛП) $LS(i)$ и одного локального координатора (ЛК) LC; $LS(i) : X(i)\ \mathrm{x}\ C(i) \to Y(i)$ отображение, определяющее выработку управляющих воздействий $Y(i)$ на $i$-ый ГА путем обработки множества входных сигналов $X(i)$, поступающих в ЛП в процессе выполнения программ, а также координационных команд $C(i)$, поступающих в ЛП от ЛК; $X(LC) = Z_1 \times Z_2 \times Z_3 \times Z_4$, $Y(LC) = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$ – декартовы произведения множества входов в $X(LC)$ и управляющих сигналов $Y(LC)$ от ЛК соответственно; $PS = \mathrm{U}_{PS}(i), i \in \overline{1,4}$, объединение подпроцессоров ЛП; $PS(i) = Y(i) \times E(i) \to X(i)$ – отображение подпроцесса, как преобразователя управляющих воздействий $Y(i)$ и внешних возмущений $E(i)$ в текущем $t$+1 такте технологического цикла в сигналы $X(i)$; $_{\exists}C_{\exists}Y(PS(Y,D(LS))\&PS(C,D(LC))$ высказывание из условий принципа совместимости задач ЛП $D(LS)$ с глобальными задачами ЛК $D(LC)$.

Поскольку структура исследуемой системы является иерархической и распределенной, то периодический вид обслуживания для нее будет наиболее приемлемым. Организацию такого вида обслуживания введем в перечень задач программ супервизора как для ЛП, так и для ЛК. В качестве способа организации его выберем способ по прерыванию периодом дискретности $T_{\text{ТЦ}}$, при котором супервизор в каждом новом $t$+1 такте должен проанализировать входную информацию, поступившую в такте $t$, определить путь перехода процесса в новое состояние, либо продолжить его выполнение, либо сохранить текущее состояние. Таким образом, первоочередной задачей встает задача синтеза системы функциональных алгоритмов супервизора, которая является далеко нетривиальной и требует, поэтому, детальной верификации.

Первый этап верификации выполним с помощью ориентированных графов состояний, рис. 2, которые позволяют достаточно наглядно и компактно отобразить совокупности состояний подсистем $LS(i)$ и координатора $LC$:

$$LS(N_{\text{ЛП}} \times N_{LS}) = \mathrm{U}_{LS}(i, j), i \in N_{\text{ЛП}}, j \in N_{LS}; LC(N_{LC}) = \mathrm{U}_{LC}(i), i \in N_{LC},$$

где $N_{\text{ЛП}} = \overline{1,4}$ – нумерация ЛП; $N_{LS} = \overline{0,12}$ или $N_{LS} = \overline{0,9}$ – нумерации состояний локальных процессов для ДГ или ВГ соответственно; $N_{LS} = \overline{1,18}$ нумерация состояний процессов СЭС.

Для ЛП ДГ, рис. 2, а, номера состояний имеют следующий смысл: 0 – стоит и заблокирован; 1 - стоит, готов к пуску; 2 – пуск; 3 – прогрев; 4 – готов к приему нагрузки; 5 – синхронизируется; 6 – распределение нагрузок; 7 – работает один; 8 – параллельная работа; 9 – сброс нагрузки; 10 – выбег; 11 – отключен от шин, нормальная остановка; 12 – синхронизирует под нагрузкой; 13 – отключен от шин по аварии.

Для ЛП ВГ, рис. 2, б, номера состояний обозначают: 0 – разобщен и заторможен; 1 – вводится в зацепление; 2 – готов к приему нагрузки; 3 – синхронизируется к сети; 4 – сеть синхронизирует к ВГ; 5 – перевод нагрузки на ВГ; 6 – работа под нагрузкой; 7 – сброс нагрузки; 8 – отключен от шин, авария; 9 – вывод из зацепления.

Для ЛК СЭС, рис. 2, в, имеют место состояния: 1 – работает один ВГ; 2 – ДГ синхронизируется к ВГ; 3 – перевод нагрузки с ВГ на ДГ; 4 – работает один ДГ; 5 – к $i$-му ДГ синхронизируется $k$-ый; 6 – параллельная работа двух ДГ; 7 – к двум ДГ синхронизируется третий; 8 – параллельная работа трех ДГ; 9 – распределение нагрузок между тремя ДГ; 10 – к двум ДГ синхронизируется ВГ; 11 – сброс нагрузки с ВГ на два ДГ; 12 – сброс нагрузки с двух ДГ на ВГ; 13 – ВГ синхронизируется к ДГ; 14 – сброс нагрузки с одного ДГ на ВГ; 15 – перевод нагрузки с третьего ДГ на два других ДГ; 16 – распределение нагрузок между двумя ДГ; 17 – перевод нагрузки с одного ДГ на другой; 18 – обесточивание.

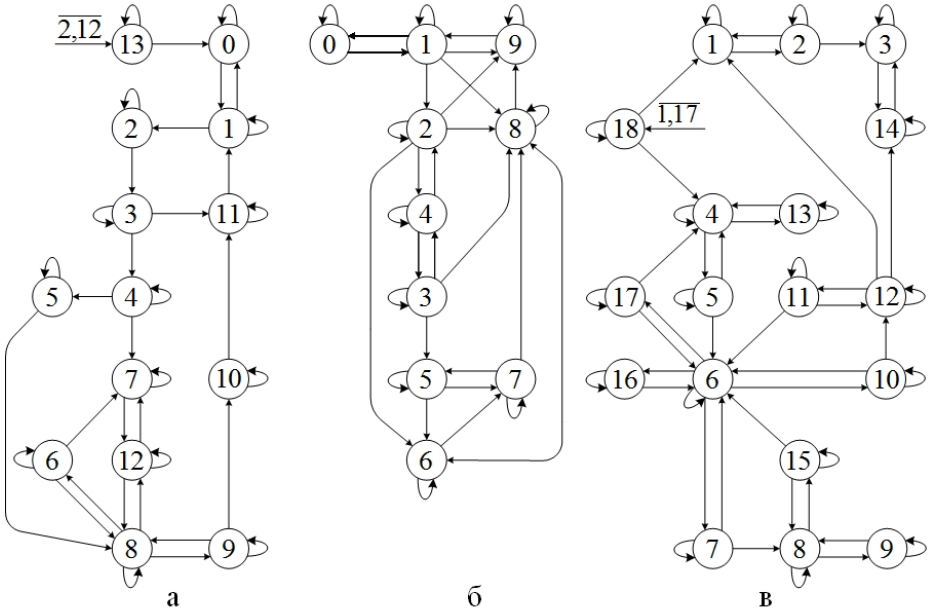



Рис. 2. Графы состояний локальных подсистем и координатора

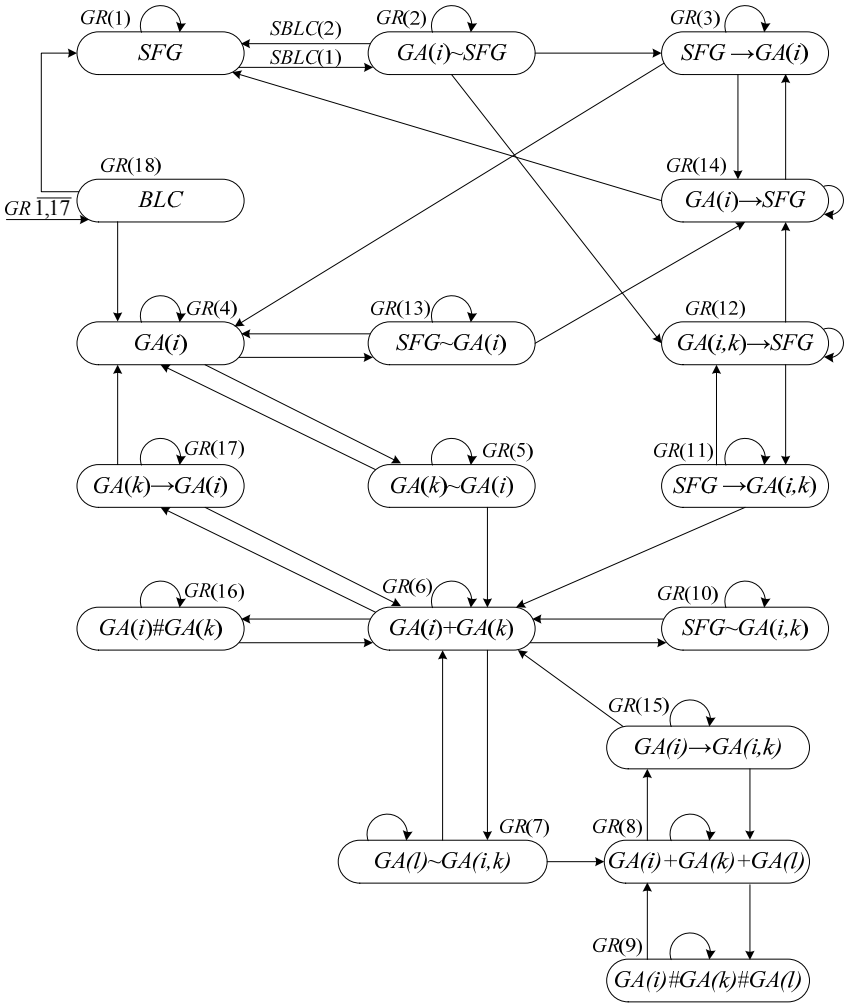



Рис. 3. Граф состояний электростанции

Следует отметить, если граф состояний СЭС, рис. 2, в, составить с учетом физических номеров ДГ (т.е. №1, №2, №3), то для его описания потребовалось бы 51 состояние. Если поставить условие, по которому программа очередности (*SQ*) будет устанавливать соответствие между порядковым номером (*i*, *k*, *l*) ГА в очереди (т.е. логическим номером и физическим номером), то для описания процессов СЭС достаточно 18 состояний.

Для большей выразительности представим граф состояний электростанции $GR(N_{GR})$, так как показано на рис. 3, где *SFG* и *GA*(*i*), *GA*(*k*), *GA*(*l*) обозначения валогенератора и дизель-генераторов соответственно, а знаки ~, →, #, +, показывают процессы синхронизации *SY*, перевода *UNL* нагрузки, распределения *SH* нагрузки и параллельной работы соответственно; *BLC* – состояние обесточенной электростанции.

Граф $GR(N_{GR})$ является полностью заданным, поскольку его вершины пронумерованы – $N_{GR} = \overline{1.18}$. Он относится к классу неоднородных, так как степени его вершин не равны; содержит 50 ребер и 18 петель, степень всего графа составляет $k = 68{:}18 \approx 3{,}8$.

Каждая вершина $GR(i) \in GR(N_{GR}), i \in N_{GR}$ сопоставлена с вполне определенным предикативным состоянием $LC(i) \in LC(N_{LC})$, где $N_{GR}$ и $N_{LC}$ нумерации, связанные взаимно однозначным соответствием $|N_{GR}| = |N_{LC}| = 18$. Таким образом, если, например, в электростанции валогенератор синхронизируется к *i*-му ДГ, то только один предикат *LC*(13) = И должен быть истинным, а остальные ложными. Здесь под термином "предикативные состояния" будем понимать систему предикатов, лишенных парадоксов в том смысле, что каждое состояние должно описываться отличным от другого, полным и не противоречивым набором-словом признака, а для установления состояния *STS* должен существовать вполне определенный алгоритм $SBLC(i) \in SBLC(N_{LC})$.

Для описания слов-признаков состояний *SIGNLC*(*i*), $i \in N_{LC}$ должен быть сформирован алфавит предикатов.

Часть предикативного алфавита можно составить, исходя из требований, задач и функций управляющей системы. Для получения же полного алфавита не существует какого-либо формального метода, поэтому его определение осуществляется по мере синтеза слов-признаков, и далее системы алгоритмов, когда появляется необходимость устранить противоречия в описании слов-признаков путем введения новых предикатов. В свою очередь новые предикаты требуют определения новых, порождающих эти предикаты алгоритмов.

Теперь приступим к синтезу множества U*SIGNLC*(*i*) слов-признаков состояний электростанции и алгоритмов их установления. Первое состояние *LC*(1) поставим в соответствие режиму, когда в СЭС под нагрузкой работает только один ГА (обозначим это условие *WRK*(1)=И) и при том валогенератор (*LS*(4,6)=И)), к которому не синхронизируется ни один ДГ (*MSY*(*i*)≠И). Из этого следует, что алгоритм установления *SBSTS*(*LC*(1) состояния *LC*(1) должен обратиться вначале к подпрограмме *SBCNT* счета количества подключенных к ГРЩ ГА, порождающей предикаты $WRK(N_{WRK})$, $N_{WRK} = \overline{0,4}$ и получить значение предиката *WRK*(1). Затем получить значение *LS*(4,6), которое посылает в каждый такт обмена информацией локальная подсистема *LS*(4), обслуживающая валогенератор, рис. 1, 2,б, и, наконец, значение предиката, отображающего наличие памяти синхронизации *MSY*, которую формирует локальный координатор по запросу нижней ЛП, если какой-либо ДГ готов к синхронизации. Располагая значениями предикатов {*WRK*(1), *LS*(4,6), *MSY*}, программа *PRSTS*(*LC*(1)) теперь может установить истинность состояния *LC*(1) если данному набору задать (по А.А. Маркову) внутреннюю систему координат с помощью функциональных (операционных) имен алгебры логики.

$$SIGNLC(1) = WRK(1) \,\&\, LS(4,6) \,\&\, \overline{MSY}(i) \qquad (1)$$

В таком случае алгоритм подпрограммы *SBSTS*(*LC*(1)) установления состояния *LC*(1) сводится к следующему правилу:

$$\begin{aligned} &while\ SBLC(1)\ do\ SBCNT \\ &if\ \ WRK(1) \,\&\, LS(4,6) \,\&\, \overline{MSY}(i) \\ &then\ WR{:}\,LC(1)\ else\ \ fi\ od \end{aligned} \qquad (2)$$

Это же правило с использованием языка результатных функций будет иметь вид:

$$RFLC(1) \simeq (WRK(1) \,\&\, LS(4,6) \,\&\, \overline{MSY}(i)) \rightarrow LC(i) \qquad (3)$$

Запись (2) является более выразительной и содержательной, чем (3), так как в ней явно предписано выполнение подпрограммы *SBCNT*, в то время как в результатной (3) функции эта подпрограмма задана в неявном виде: “Хочешь получить значение предиката *WRK*(1)? Обратись к подпрограмме *SBCNT*”. Однако, запись (3) является более компактной.

Способы синтеза подпрограммы *SBCNT* рассматриваются в [2]. Второе состояние *LC*(2) должно характеризоваться такой же парой предикатов *WRK*(1), *LS*(4,6), как и *LC*(1), но кроме того должны иметь место признаки того, что есть решение на остановку валогенератора (предикат памяти на остановку ВГ является истинным, *MSP*(4)=И, а локальная подсистема *i*-го ДГ *LS*(*i*)

выполняет процесс синхронизации, т.е. $LS(i,5)$=И, причем время, отведенное на успешную синхронизацию, еще не исчерпано, т.е. предикат $TSY$≠И. Исходя из этого, полное слово признака состояния $LC(2)$ будет иметь вид:

$$SIGNLC(2) = WRK(1)\,\&\,LS(4,6)\,\&$$
$$\&\,MSP(4)\,\&\,MSY(i)\,\&\,\overline{TSY}$$

Порождение предикатов $MSP(4)$, $MSY(i)$, $TSY(i)$ отнесем к функции подпрограммы супервизора (диспетчера) $SBSVRLC(1)$, обеспечивающей как контроль состояния $LC(1)$, так и условия перехода СЭС в состояние $LC(2)$. Отсюда следует, что $SBLC(1)\in SBSVRLC(1)$, а поскольку $|N_{LC}|=18$, то полная программа супервизора локального координатора $PRSVR(LC)$ есть объединение

$$PRSVR(LC) = \bigcup_{i=1}^{18} SBSVRLC(i)$$

Рассмотрим процедуру синтеза подпрограммы супервизора $SBSVRLC(1)$, используя результатные функции и ЛСА.

Будем считать, что переход от $LC(1)$ к $LC(2)$ может быть инициирован командой оператора $SP(4, t+1)$=И на остановку ВГ в текущий $t$+1 такт времени либо автоматически при возникновении аварии $EM(4, t+1)$=И, требующей замены ВГ резервным дизель-генератором. Причем программа супервизора должна различать критическое $CR(4)$ и некритическое $\overline{CR}(4)$ аварийное состояние ВГ. В первом случае она должна послать (записать – $WR$) команду на экстренный $MSTQ(i)$ пуск, а во втором на нормальный $MST(i)$ пуск резервного ДГ, если электростанция располагает резервом $YSR$=И. При отсутствии резерва $NTR$=И решение отсылается к оператору $DOP$=И. Команды $MST(i)$ либо $MSTQ(i)$ поступают в режиме обмена данными в локальную подсистему $LS(i)$, осуществляющую программу пуска. В следующие такты технологических циклов $T_{\text{тц}}$ супервизор координатора должен контролировать процесс пуска на заданном числом $B(ST)=\ t^{ST}_{\text{доп}}/T_{\text{ТЦ}}$ временном интервале. Этим предписанием будут удовлетворять следующие результатные функции:

$$RFLC(1,1) \simeq LC(1)\,\&\,\overline{MSP}(4,t)\,\&\,(SP(4,t+1)\vee$$
$$\vee\, EM(4,t+1)\,\&\,\overline{CR}(4))\,\&\,YSR \to WR : MSP(4),$$
$$MST(i), B(ST), MEM \quad if \quad EM(4);$$
$$RFLC(1,2) \simeq LC(1)\,\&\,\overline{MSP}(4,t)\,\&\,EM(4,t+1)\,\&$$
$$\&CR(4)\,\&\,YSR \to\to WR : MSP(4), MSTQ(i),$$
$$B(STQ), MEM(CR);$$
$$RFLC(1,3) \simeq LC(1)\,\&\,(SP(4,t+1)\vee EM(4)\vee$$
$$\vee MSP(4,t)\vee MEM(4))\,\&\,\&NTR \to WR\ DOP$$

Если же по истечении $t_{\text{доп}}$ ($TST$=И) по результатам обмена информации с $i$-ой локальной подсистемой установлено, что резервный, ГА не достиг состояния «готов к приему нагрузки», т.е. $LS(i,4) \neq$ И, то при наличии следующего резерва $YSR$=И координатор должен сформировать команду $MST(k)$ на запуск очередного резерва:

$$RFLC(1,4) \simeq LC(1)\,\&\,MSP(4,t)\,\&$$
$$\&\,(MST(i)\oplus MSTQ(i))\,\&\,TST\,\&\,\overline{LS}(i,4)\,\&\,YSR \to$$
$$\to WR : MST(k)\oplus MSTQ(k), B(ST)\oplus B(STQ);$$
$$RFLC(1,5) \simeq LC(1)\,\&\,MSP(4,t)\,\&\,TST\,\&$$
$$\overline{LS}(i,4)\,\&\,NTR \to WR : DOP$$

При удавшемся запуске резерва $LS(i,4)$=И супервизор должен послать в адрес $LS(i)$ разрешение на синхронизацию $MSY(i)$=И, и записать число $B(SY)$, равнозначное допустимому времени синхронизации $B(SY)=\ t_{\text{доп}}/T_{\text{ТЦ}}$, а также зарегистрировать новое $LC(2)$ состояние процесса:

$$RFLC(1,6) \simeq LC(1)\,\&\,MSP(4,t)\,\&\,LS(i,4) \to$$
$$\to WR : MSY(i), B(SY), LC(2)$$

Полученные результатные функции синтезируем с помощью ЛСА в виде следующего алгоритма подпрограммы $SBSVRLC(1)$ супервизора:

$$SBSVRLC(1) = S_{\text{Н}}.\{SBINP.SBCNT\}.LC(1)\overset{1}{\uparrow}MSP(4,t)\overset{2}{\uparrow}$$
$$(MST(i)\vee MSTQ(i))\overset{3}{\uparrow}TST\overset{k}{\uparrow}\overset{5}{\downarrow}YSR\overset{4}{\uparrow}\overset{7}{\downarrow}WR : ST(k),$$
$$B(ST).\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{4}{\downarrow}WR : NTR, DOP.\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow}LS(i,4)\overset{5}{\uparrow}WRLC(2).$$
$$WRMSY(i).WRB(SY).\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow}SP(4,t+1)\overset{6}{\uparrow}YSR\overset{4}{\uparrow}WR :$$
$$MSP(4),\omega\overset{7}{\uparrow}\overset{6}{\downarrow}EM(4,t+1)\overset{k}{\uparrow}CR(4)\overset{5}{\uparrow}YSR\overset{4}{\uparrow}WR :$$
$$STQ(i), B(STQ), MSP(4).\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{1}{\downarrow}PRCLS\overset{k}{\downarrow}S_{\text{К}}$$

где $PRCLS$ – программа поиска истинного состояния в случае, когда признаки текущего состояния не соответствуют эталонному $SIGNLC(1)$, т.е. $LC(1)$≠И. Структура $PRCLS$, полученная на основе подбора состояний «по жребию», рассматривалась в 2.2; $SBINP$ – подпрограмма ввода данных, строго согласованная во времени с потоком обмена данных. Правила обмена между уровнями системы установим так, как показано на рис. 4.

В момент времени $t_{\text{А}}$ с наступлением нового $t$+1 технологического цикла координатора $T_{\text{ТЦ}}(LC)$ подсистемы нижнего уровня работают в режиме ввода $SBINP$(LC). Затем, по истечении времени $t_{\text{АВ}}$ работы подпрограммы супервизора $SBSVRLC(i)$, координатор передает данные подпрограммы $SBOUT(LC)$ в локальные подсистемы, у которых в момент $t_{\text{В}}$ наступает время нового технологического

цикла. Время $t_{BC}$ соответствует времени выполнения подпрограммы *SBSVRLS*(*i*) супервизора локальной подсистемы и т.д.

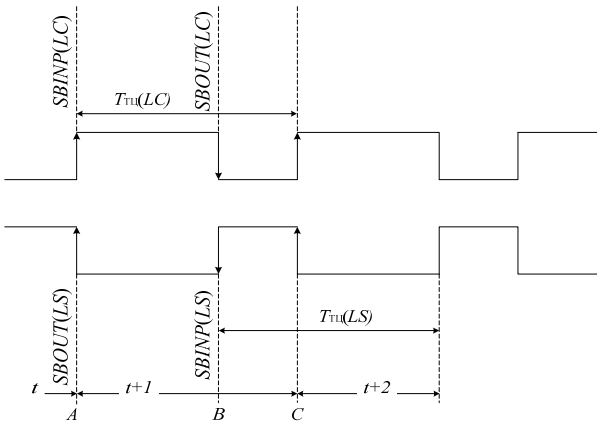



Рис. 4. Правила обмена данными между подсистемами

Из графа, рис. 3, следует, что для состояния *LC*(2) установлено два перехода – один в *LC*(1), второй *LC*(3). Первый свяжем с ситуацией, когда необходимость в остановке ВГ отпала и оператор снял команду на остановку $MSP(4,t+1)\neq$И, и к этому времени ДГ еще не успел подключиться *WRK*(1)=И. В этом случае, если ВГ исправен $MEM(4)\neq$И, супервизор *SBSVRLC*(*i*) должен послать команду на остановку *GA*(*i*), *SP*(*i*)=И, что приведет *LS*(*i*) в состояние *LS*(*i*,11). Если же *GA*(*i*) подключится, к примеру, в момент обмена информацией, то супервизор *PRSVRLS*(*i*) локальной подсистемы приведет *LS*(*i*) в состояние *LS*(*i*,9), что дает основание супервизору координатора посредством программы *PRCLS* зафиксировать состояние *LC*(14). Условию перехода *LC*(2)→*LC*(1) поставим в соответствие результатную функцию:

$$RFLC(2,1) \simeq LC(2)\,\&\,ST(4,t+1)\,\&\,\overline{MEM}(4,t+1)\vee$$
$$\vee\,\overline{LC}(2)\,\&\,N(1)\,\&\,SWG(4)\,\&\,\&\overline{LS}(i,5)\rightarrow WR:$$
$$SP(i),LC(1);\ CL:MSY(i),MSP(4);$$
$$WR:DOP\ if\ MEM(4,t+1),$$

где *SWG*(4) предикат, истинный, если ВГ подключен к шинам; *CL* – операция стирания памяти. Второй переход *LC*(2)→*LC*(3) заканчивается в момент подключения *GA*(*i*) к шинам *SWG*(*i*)=И. В этом случае супервизор локальной подсистемы должен вызвать прикладную программу распределения нагрузок *PRSH* и зарегистрировать состояние *LS*(*i*,6). Получив в такте обмена данными эту информацию, подпрограмма *SBSVRLC*(2) должна зарегистрировать состояние *LC*(3), стереть память синхронизации *CLSY* и послать в адрес процесса локальной подсистемы валогенератора *LS*(4) команду на сброс нагрузки *MUNL*(4,*i*), а также приступить к контролю этого процесса во времени *B*(*UNL*). Следовательно, слово признака состояния (3) будет иметь вид:

$$SIGNLC(3)=WRK(2)\,\&\,SWG(4)\,\&\,LS(i,6)\,\&$$
$$\&\,MUNL(4,i)$$

Перевод нагрузки с ВГ и обратно относится к весьма ответственному процессу, с точки зрения возможного перехода ВГ в двигательный режим, и, как следствие, большой перегрузки ДГ. Поэтому локальная подсистема валогенератора *LS*(4) должна быть обеспечена прикладной программой контроля сброса нагрузки *PRUNL*(4,*i*), обеспечивающей отключение ВГ от шин при достижении определенного (как правило, 10% от $P_H$) уровня нагрузки ВГ.

Если по техническим условиям обеспечена возможность управления (подрегулирования) вращающим моментом валогенератора, то программа *PRUNL*(4,*i*) сможет выполнять не только функции контроля, но и управлять процессом сброса. В противном случае управление организуется программой *PRSH*(4,*i*) в *LS*(*i*), а контроль *PRUNL*(4,*i*) в *LS*(4).

Контроль процесса перевода нагрузки должно производиться с целью повышения надежности, как координатором во времени, так и подсистемой *LS*(4). Причем, координатор должен в случае неудавшегося сброса нагрузки *TUNL*=И сработать на оповещение оператора, а *LS*(4) по истечении отведенного времени в зависимости от значения оставшейся нагрузки может послать команду на отключение валогенератора от шин.

Кроме того, в системе должна быть предусмотрена надежная защита по переходу ВГ в двигательный режим с самонастраивающейся временной задержкой на отключение в зависимости от величины обратной мощности. С учетом изложенного алгоритма контроля перехода *LC*(2)→*LC*(3) поставим в соответствие результатную функцию:

$$RFLC(2,2) \simeq \overline{LC}(2)\,\&\,WRK(2)\,\&\,SWG(4)\,\&\,LS(i,6)\,\&$$
$$\&MSP(4)\rightarrow WR:MUNL(4,i),BUNL,LC(3);$$
$$CL:MSY(i,4)$$

Синтезируя с помощью ЛСА функции *RFLC*(2,1) и *RFLC*(2,2), получим вторую подпрограмму супервизора координатора:

$$SBSVRLC(2)=S_H.\{SBINP.SBCNT\}.SIGNLC(2)\overset{1}{\uparrow}$$
$$ST(4,t+1)\overset{2}{\uparrow}MEM(4)\overset{3}{\uparrow}WR:DOP\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{3}{\downarrow}CL:MSY,$$
$$MSP(4).WR:MSP(i),LC(1).\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{2}{\downarrow}SY\overset{k}{\uparrow}WR:EM(SY),$$
$$DOP\omega\overset{k}{\uparrow}\overset{1}{\downarrow}WRK(2)\,\&\,SWG(4)\,\&\,LS(i,6)\overset{4}{\uparrow}WR:$$
$$MUNL(4,i),B(UNL),LC(3);\ CL:MSY(i,4)\omega\overset{k}{\uparrow}$$
$$\overset{4}{\downarrow}PRCLS\overset{k}{\downarrow}S_K,$$

где с помощью операции *WR*: *EM*(*SY*), введено условие регистрации неудавшейся синхронизации с оповещением оператору. В этом случае система не должна предпринимать оперативных действий, связанных с остановкой исправного дизель-генератора, так как неудавшаяся синхронизация может быть по причине неуправляемости валогенератора (волнение моря, сильно пониженная частота) и т д.

Для окончательного освещения метода и особенностей синтеза модулей программы супервизора координатора рассмотрим, синтез подпрограммы *SBSVRLC*(6), обслуживающей режим параллельной работы двух дизель-генераторов. Как видно из рис. 3, граф в вершине *GR*(6), соответствующий этому режиму, достигает максимальной степени. Анализируя направление путей перехода графа из вершины *GR*(6), устанавливаем, что алфавит слова признака состояния *LC*(6) должен состоять из таких предикатов, как: к шинам подключены два ДГ *WRK*(2)=И оба ДГ находятся в состоянии параллельной работы, т.е. *LS*(*i*,8)=И и *LS*(*k*,8)=И; необходимости в уравнивании нагрузок между генераторами нет *TSH*(*i*,*k*)≠И, т.е.:

$$SIGNLC(6) = WRK(2)\,\&\,LS(i,8)\,\&\,LS(k,8)\,\&\,\overline{TSH}(i,k)\,.$$

Условия перехода в другие *LC*(7), *LC*(10), *LC*(17), *LC*(16) состояния могут быть связаны с изменением нагрузки электростанции, а также аварийными и предаварийными состояниями работающих дизель-генераторов. Решение задач, связанных с контролем загрузки электростанции и определением необходимого количества *NRY*(*l*), $l \in N_{NRY}$, $N_{NRY}=\overline{1,m}$ ГА предпишем специальной программе *PRNRY*. Программа *PRNRY* порождает предикаты *NRY*(1)=И, если по нагрузке нужен один ГА, *NRY*(2)=И, если надо два или *NRY*(3)=И, если три.

Выполнение функции контроля технического состояния агрегатов предпишем подпрограммам их локальных подсистем. Эти программы порождают предикаты *MSP*(*i*), *MSP*(*k*), *MSPQ*(*i*), *MSPQ*(*k*). Первая пара предикатов может быть вызвана некритическими авариями или запросом оператора на остановку, т.е. они не требуют от координатора непременной остановки. Другими словами, окончательное решение на остановку в случае *MSP* принимает координатор. Вторая же пара предикатов *MSPQ* ставит координатор перед фактом экстренной остановки через определенную (в зависимости от типа аварии) временную задержку.

Таким образом, постановка задачи наборов требует исследования различных значений из минимум семи переменных. Полное число наборов составит 128, т.е. построение полностью детерминированного алгоритма, осуществляющего перебор всех без исключения наборов, приведет к его большой размерности. Поэтому здесь возникает задача поиска путей минимизации числа переборов и получения результатных функций более низких размерностей.

Первым шагом в этом направлении является выделение наборов, невозможных с точки зрения характера технологического процесса. Так из трех предикатов $NRY(\overline{1,3})$ по характеру технологического и вычислительного процесса одновременно может быть истинным только один предикат. Поэтому для синтеза алгоритма достаточно рассмотреть три набора (001, 010, 100).

Остальные пять наборов (000, 110, 101, 011, 111) можно объявить ложными, возникающими как результат сбоя (ошибки) программы – *MIP*, что, безусловно, является нежелательным явлением, могущим привести в управлении к непредсказуемым последствиям. Поэтому задачу распознавания ложных наборов полностью исключать нецелесообразно.

Анализ рассматриваемых наборов показывает, что они обладают некоторым свойством, а именно – неложные наборы при применении к ним операции “исключающее или” порождают истинный предикат, а ложные (кроме набора 111) – ложный предикат. Это свойство позволяет для алгоритма распознавания *SBRCG* установить следующее правило функционирования

$$while\ \ SBRCG\ \ do\ \ if\ \ (NRY(1)\oplus NRY(2)\oplus NRY(3))\,\&$$
$$\&\,(\overline{NRY}(1)\vee\overline{NRY}(2))=0\ \ then\ \ WR:MIP\ \ else\ \ fi\ \ od$$

При прохождении предиката *MIP*=И любые действия по автоматическому управлению электростанцией должны быть прекращены.

Поскольку каждая подфункция полностью задана входным словом, и определена выходной процедурой, то осуществляя их синтез с помощью ЛСА, получим искомую подпрограмму *SBSVRLC*(6):

$$SBSVRLC(6) = S_{\text{Н}}\{SBCNT.SBNRY\}LC(6)\overset{1}{\uparrow}LS(4,2)\overset{2}{\uparrow}$$
$$WR:MSY(4),LC(10).\omega\overset{k\ 2}{\uparrow\downarrow}MSPQ(i\,\&\,k)\overset{3\ 12}{\uparrow\downarrow}LS(l,4)\overset{4}{\uparrow}$$
$$OVL(1)\overset{5}{\uparrow}PRCNS\overset{5}{\downarrow}WR:MSY(l),LC(7).\omega\overset{k\ 4}{\uparrow\downarrow}MSTQ(l)\overset{6}{\uparrow}$$
$$T(STQ)\overset{k\ 8}{\uparrow\downarrow}WR:DOP\,\omega\overset{k\ 6}{\uparrow\downarrow}MST(l)\overset{7\ 9}{\uparrow\downarrow}WR:MSTQ(l),$$
$$B(STQ)\,\omega\overset{k\ 7}{\uparrow\downarrow}YSR\overset{8}{\uparrow}\omega\overset{9\ 3}{\uparrow\downarrow}MSPQ(i\oplus k)\overset{10}{\uparrow}NRY(1)\overset{12\,15}{\uparrow\downarrow}WR:$$
$$MSH(i),MUNL(k),LC(17).\omega\overset{k\ 10}{\uparrow\downarrow}MSP(i\oplus k)\overset{13}{\uparrow}NRY(1)\overset{14}{\uparrow}$$
$$\omega\overset{15\,14}{\uparrow\downarrow}LS(l,4)\overset{16}{\uparrow}\omega\overset{5\ 16}{\uparrow\downarrow}MST(l)\overset{17}{\uparrow}T(ST)\overset{k}{\uparrow}\omega\overset{8\ 17}{\uparrow\downarrow}YSR\overset{8}{\uparrow}WR:$$
$$MST(l),B(ST).\omega\overset{k\ 13}{\uparrow\downarrow}MSP(i\,\&\,k)\overset{18}{\uparrow}MST(l)\overset{17}{\uparrow}T(ST)\overset{k}{\uparrow}\omega\overset{8}{\uparrow}$$
$$\downarrow NRY(1)\overset{19}{\uparrow}\omega\overset{15\,19}{\uparrow\downarrow}NRY(3)\overset{k}{\uparrow}\omega\overset{17\ 1}{\uparrow\downarrow}PRCLS\overset{k}{\downarrow}S_{\text{К}},$$

где *SBCNT* и *SBNRY* – соответственно подпрограммы счета количества задействованных ГА и определения потребного числа ГА в текущем режиме. Особенности синтеза этих подпрограмм будут рассмотрены в дальнейших исследованиях.

**Выводы.** Предложен метод построения систем управления судовыми электростанциями, базирующийся на применении графов состояний, результатных функций и языка логических схем алгоритмов.

Получена структура и информационные связи управляющей системы четырех агрегатной электростанции неоднородной структуры. Построены графы состояний локальных подсистем дизель- и валогенераторов, а также в целом электростанции.

Синтезированы алгоритмы верхнего уровня системы управления электростанцией, позволяющие решать задачи, связанные с оптимизацией управления и адаптацией электроэнергетической системы в нормальных и аварийных режимах.

**Литература**


1. Mukund R. Patel. Shipboard electrical power systems. CRC Press, 2012. 370 p.
2. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч. –техн. сб. – 2015. – Вып. 36. Одесса: ОНМА. – С. 74-82.
3. Пипченко А.Н. Принципы построения и основы наладки контроллеров и систем автоматики: Учебное пособие / Пипченко А.Н., Пономаренко В.В., Шевченко В.А. – Одесса: ТЭС, 2010. – 592 с. ISBN 978-966-2389-15-9
4. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.
5. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії: науч. -техн. сб., 2015, Вып. 1, с. 296-301.
6. Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
7. Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway
8. Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
9. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
10. Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko / Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.
11. Budashko, V. V. Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes [Text] / O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov // Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:10.15587/2312-8372.2016.81407.
12. Будашко, В. В. Имплементарный подход при моделировании энергетических процессов динамически позиционирующего судна [Текст] / В. В. Будашко // Електротехніка і Електромеханіка. 2015. №6. – С. 20–25. ISSN 2074–272X. Doi:10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764.
13. Будашко В. В. Удосконалення системи управління підрулюючим пристроєм комбінованого пропульсивного комплексу / В. В. Будашко, О. А. Онищенко // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2014. – № 38 (1081). – С. 45-51.
14. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / К. Циннер; пер. с нем. В.И. Федышина; под ред. Н.Н. Иванченко. – Ленинград : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978.
15. Шевченко В.А. Оптимизация управления электростанцией из условия минимума расхода топлива и с учетом метеоусловий // *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. № 4. С. 94–103.
16. Шевченко В. А. Алгоритм быстрой оценки параметров судовых электроэнергетических систем // *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля* – 2018. – №3(244). – С. 136 – 141.


**References**


1. Mukund R. Patel. Shipboard electrical power systems. CRC Press, 2012. 370 p.
2. Zakharchenko, V.N. *Resheniye zadach upravleniya sudovoy elektroenergeticheskoy ustanovkoy pri izmenenii nagruzki* [Ship's electrical power plant control tasks solving when load changing] [Text] . V.N. Zakharchenko, V.A. Shevchenko . Ship's power plants: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 36. Odesa: ONMA. – p. 74-82.
3. Pipchenko, A.N., Ponomarenko, V.V., Shevchenko V.A. (2010). *Principy postroenija i osnovy naladki kontrollerov i sistem avtomatiki*. Odessa : "TES"
4. Shevchenko, V.A. *Verifikatsiya funktsyonal'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy electricheskoy stantsiey* [Ship's multiunit electrical power plant control system algorithms verification] [Text. Ship's technical means automatization: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 21. Odesa: ONMA. – p. 70-76.
5. Shevchenko, V.A. *Sposob verifikacii funkcional'nyh algoritmov sistemy upravlenija mnogoagregatnoj sudovoj jelektricheskoj stanciej* [Text. Nauk. Vistnyk KDMA: nauchn. tehn. sb. – 2015. – Iss. 1. – p. 296-301.
6. Clarke, N.J. (2004), Marine electrical power systems, 2nd Intern. Conference on Power Electronics, Machines and Drives, 2004 (PEMD 2004)
7. Fossen, T.I. (2002), Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles, Marine Cybernetics AS, Trondheim, Norway

8. Milosevic, M and G. Andersson (2005), Generation Control in Small Isolated Power Systems, North American Power Symposium (NAPS), Ames, USA, 2005
9. Budashko, V. *Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes* [Text] . V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
10. Budashko, V. V. *Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex* [Text] . V. V. Budashko . Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.
11. Budashko, V. V. *Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes* [Text] . O. V. Glazeva, V. V. Budashko, S. F. Samonov . Technology audit and production reserves. – 2016. – V. 5. – 1(31). – 63-73. Doi:10.15587/2312-8372.2016.81407.
12. Budashko, V. V. *Implementarnyj podhod pri modelirovanii jenergeticheskih processov dinamicheski pozicionirujushhego sudna.* Electrical engineering & electromechanics. – 2015. – №6. – P. 20 – 25. ISSN 2074–272X. Doi:10.20998/2074–272X.2015.6.02/50764.
13. Budashko, V. V. *Udoskonalennya sy`stemy` upravlinnya pidrulyuyuchy`m pry`stroyem kombinovanogo propul`sy`vnogo kompleksu*. V. Budashko, O. Onishchenko. Visny`k Nacz. texn. un-tu "XPI" : zb. nauk. pr. Temat. vy`p. : Elektry`chni mashy`ny` ta elektromexanichne peretvorennya energiyi. – Kharkiv : NTU "KPI". – 2014. – № 38 (1081). – P. 45-51.
14. K. Zinner Internal combustion engines turbocharging / K. Zinner; tr. fr. grm. V.I. Fedyshyn. – Leningrad : Engineering, 1978.
15. Shevchenko, V.A. *Optimizacija upravlenija jelektrostanciej iz uslovija minimuma rashoda topliva i s uchetom meteouslovij* [Text. Visnyk Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universytetu. Serija: Tehnichni nauky] – 2018. – Iss. 4. – p. 94-103.
16. Shevchenko, V.A. *Algoritm bystroj ocenki parametrov sudovyh jelektrojenergeticheskih sistem* [Text. Visnyk shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu imeni Volodymyra Dalja] – 2018. – Iss. 3(244). – p. 136-141.

**Шевченко В.А. Метод та особливості синтезу алгоритмів верхнього рівню системи управління судновою електростанцією.**

*Запропонований метод побудови систем управління судновими електростанціями, що базується на застосуванні графів станів, результатних функцій та язику логічних схем алгоритмів. Отримана структура та інформаційні зв'язки системи управління чотирьох агрегатної електростанції неоднорідної структури. Побудовано графи станів локальних підсистем дизель- та валогенераторів, а також у цілому електростанції. Синтезовані алгоритми верхнього рівня системи управління електростанцією, що дозволяють вирішувати задачі, що пов'язані з оптимізацією управління та адаптацією електроенергетичної системи у нормальних та аварійних режимах*

***Ключові слова:*** *суднова електроенергетична система, верифікація, граф станів, синтез алгоритмів.*

**Shevchenko V.A. Ships electrical power plant control system top level algorithm synthesis method and specifics.**

*Ships electrical power plants power growing is continuous process during all merchant fleet history. Due to complexity of modern marine electrical power plant one of the most important problems is the power plants control systems development in order to improve the reliability and efficiency. The goal of this research is ships electrical power plant control system top level algorithm synthesis method development. Four units marine power plant control system structure and information links were received. Power plant control systems development method is offered. The method is based on the application of graph states, resultant functions and algorithms logic diagrams language. Diesel- and shaftgenerators, the whole power plant subsystems graph states were developed. Ships electrical power plant control system top level algorithms were synthesized. Such algorithms allows to solve power plant optimization and adoption tasks in normal and emergency conditions.*

***Keywords:*** *ship's electrical power system, verification, states graph, algorithms synthesis.*

**Шевченко Валерій Анатолійович** – к.т.н., доцент кафедри «Електрообладнання і автоматика суден» Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: vash4891@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Суворін О.В.***

Стаття подана 13.11.2018

УДК 004.832.34

# ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ЗБИРАЛЬНИХ РОБІТ У РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

**Барбарук Л.В., Зубарев Д.В., Медведєв Є.М., Барбарук В.М.**

# USING FUZZY MODELS FOR PLANNING CROP-HARVESTING OPERATIONS UNDER DIFFERENT CLIMATIC CONDITIONS

**Barbaruk L.V., Zubarev D.V., Medvedev E.M., Barbaruk V.M.**

*У статті розглянуте питання розробки програмного засобу для підтримки прийняття рішень щодо кількості транспортних засобів для реалізації оптимального процесу збору врожаю на полях за різних умов. Суть підходу полягає у використанні нечітких моделей для розрахунку набору параметрів та інтерпретації лінгвістичних змінних для забезпечення широкого залучення експертних оцінок при плануванні збиральних робіт. Для налаштування системи використано імітаційне моделювання. Виявлено закономірності, які впливають на прийняття рішень, визначено вплив вхідних параметрів, функцій приналежності та методів фазифікації. Представлено короткий опис розробленого програмного забезпечення.*

***Ключові слова:*** *нечітка модель, планування, збиральні роботи, кліматичні умови, нечіткий висновок Мамдані, програма.*

**Постановка проблеми.** Україна є одним зі світових лідерів у виробництві сільськогосподарської продукції, головним чином за рахунок великої площі засіяних земель. В той же час, більшість країн активно використовують новітні технології, що дозволяють отримувати більше продукції з меншої площі. Ефективність функціонування у сільському господарстві багато в чому залежить від уміння керівників різного рівня ретельно готувати й обґрунтовувати прийняті рішення. Ринкова економіка висуває серйозні вимоги до якості, своєчасності, повноти, якості інформації, глибини аналізу економічних показників. В сільському господарстві дуже часто зустрічаються задачі, для вирішення яких необхідне використання неточних або інтервальних вхідних даних, тому традиційні статистичні підходи є непридатними. Однією з таких задач є планування збиральних робіт в різних кліматичних умовах. Так, у кожному сільському господарстві, яке займається вирощуванням, збором і транспортуванням пшениці, в липні-серпні ставиться питання виділення транспортних засобів, визначення їх кількості, часу та продуктивності роботи. Під час збиральних робіт, особливо за умов погіршення погодних показників, виникають питання раціональної організації та розподілу наявних транспортних засобів для прибирання і відвантаження пшениці з поля. Підхід заснований на використанні нечіткої логіки, допоможе фахівцям в галузі сільського господарства правильно виділити потрібну кількість комбайнів, транспортних засобів, визначити рівень полеглості і ще ряд необхідних значень для своєчасного прийняття рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачам використання нечітких моделей в сільському господарстві та плануванню збиральних робіт присвячено чимало публікацій. Так, автори [1] зазначають, що при плануванні збиральних робіт, людина має визначитись з кількістю транспортних засобів, їх номенклатурою, оцінити найкращі маршрути руху транспортних засобів на тимчасових дорогах, враховуючи шкоду для лісних грунтів. Робота [2] вводить нову концепцію динамічних нечітких моделей, які використовуються для оцінки врожайності озимої пшениці в умовах зміни клімату. В [3] розглянуті питання оптимізації термінів посадки сільськогосподарських культур за умови зміни клімату. Автори [4] представили операційну модель, яка генерує короткострокові рішення для планування робіт. Зокрема, розроблено програму, що допомагає виробнику максимально збільшувати свої доходи шляхом прийняття виробничих рішень під час збору врожаю. Результати запропонованої моделі планування вказують на те, що значну економію можна отримати, керуючи компромісом між додатковою вартістю робочої сили та транспортними витратами. Більш того, результати також показують, що динамічні, інформаційно-орієнтовані практики управління можуть бути

кращими за традиційні практики, що базуються на фіксованих практиках розподілу та розподілу праці.

Робота [5] описує моделі планування збирання врожаю, зокрема представлена змішана модель цільового програмування для оптимального планування операцій зі збору винограду. Модель розглядає витрати на збирання врожаю та втрати на затримки. Одним з основних внесків цієї моделі є введення функції втрат в базову структуру моделі. Автори [6] зазначають, що ефективність процесу збору врожаю може бути значно покращена шляхом обчислення оптимальних маршрутів та взаємодій машин, що залучені для збору врожаю на полі. Проблема забезпечення транспортом для збору врожаю, сформована як задача маршрутизації з лінійним програмуванням, з додатковими обмеженнями, але через велику кількість нечітких змінних виникає багато питань. Отже, розв'язуючи задачі аналізу складних систем за умов невизначеності, широко використовують методи теорії ймовірності та математичної статистики. Наприклад, для моделей управління інвестиційною діяльністю ці методи припускають імовірнісне тлумачення параметрів досліджуваних систем та одержання на цій підставі статистичних висновків. Однак, коли невизначеність щодо майбутнього стану об'єкта дослідження втрачає риси статистичної невизначеності, застосування класичної ймовірності як характеристики стає неможливим. Питання про зняття невизначеності перегукується з питанням про те, яким чином ввести в науку і техніку суб'єктивізм людини. І тут не можна обійтися без нечітких множин. Це математична теорія, яка створена для того, щоб представити змістовні нечіткості слів людини, це унікальний метод з точки зору надання математиці потенційних можливостей обробляти суб'єктивні дані. Одним з перевірених на сьогоднішній день методів усунення невизначеності є «розмивання» вхідних даних та очікуваного результату. Розв'язання задач прийняття рішень повинно опиратися на те, що ключовим елементом є не число, а певна нечітка множина, для елементів якої перехід від належності до неналежності певному класу не є різким, а гнучким (поступовим, м'яким). Справді, логіка міркувань людини не є звичайною чи навіть багатозначною, це логіка з розмитими (нечіткими) істинами та розмитими відношеннями. Як свідчить практика, параметри задачі нечіткого математичного програмування не підлягають імовірнісному розподілу, для них можна вказати тільки інтервали можливих значень. Таку задачу називають задачею із багатозначними коефіцієнтами. Для таких задач недоречно проводити максимізацію (мінімізацію) цільової функції, оскільки значення цієї функції – не число, а множина чисел. Для розв'язання таких задач насамперед необхідно з'ясувати, яке відношення переваги на множині альтернатив породжує ця функція, а після цього визначити, які рішення слід вважати раціональними щодо цього відношення переваги. Другий етап – це опис параметрів задачі у вигляді нечітких множин, тобто у модель вводиться додаткова інформація у вигляді функцій належності цих нечітких множин. Уведення таких функцій є способом наближення експертом наявного у нього неформального уявлення про реальні значення параметрів задачі. Значення функції приналежності – це вагові коефіцієнти, які експерти приписують різним значенням цих параметрів [7].

**Метою** роботи є аналіз можливостей використання нечітких моделей і розроблення програмного забезпечення для підтримки прийняття рішень щодо планування кількості комбайнів, наобхідних для забезпечення ефективної збиральної кампанії в залежності від низки параметрів: вологості, стану грунтів, рівня полеглості, врожайності пшениці, часу повернення транспортного засобу з поля до току і назад, швидкості руху комбайна і т.д.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для вирішення завдання планування збиральних робіт використовуються наступні множини: «стан погодних умов», «стан культури» та «транспорті засоби». Формально, модель збиральних робіт може бути представлена кортежем:

$$H = \left\langle \left\{ W, m_i \right\}, \left\{ C, m_j \right\}, \left\{ T, m_k \right\} \right\rangle,$$

де $W$ – множина стану погодних умов, $m_i^W$ – множина параметрів, що є ознаками погодних умов, $i \in [1,3]$; $C$ – множина станів культури, $m_j^C$ – множина параметрів, що є ознаками стану культури, $j \in [1,3]$; $T$ – множина транспортних засобів, $m_k^T$ – множина параметрів, що є ознаками транпортних засобів.

Множина $W$ використовується при описі погодних умов і має наступну множину атрибутів $m_i^W$: $m_1^W$ – рівень дощу, $m_2^W$ – рівень граду, $m_3^W$ – рівень роси, $m_4^W$ – рівень вологості грунту. Атрибути можуть мати різні значення у тому числі лінгвістичні, а також кілька значень для різних полів. Множина станів культури $C$ має наступну множину параметрів $m_j^C$: $m_1^C$ – полеглість культури на полі, $m_2^C$ – вологість культури, $m_3^C$ – рівень врожайності. Дані параметри характеризують сільськогосподарську культуру, що підлягає збору із застосуванням транспортних засобів.

Множина $T$, характеризує наявні транспортні засоби та умови їх застосування. Дана множина володіє переліком наступних обов'язкових параметрів $m_k^T$: $m_1^T$ - вантажопідйомність, $m_2^T$ - ширина жатки, $m_3^T$ - час оберту; $m_k^T$ - загальна продуктивність комбайну та може мати інші

додаткові параметри відносно категорії культури, яка підлягає обробці.

У найпростішому випадку, для розрахунку меж інтервалів параметрів, що описуються в моделі за допомогою лінгвістичних змінних $X = [X_{min}, X_{max}]$, наприклад «низька вологість грунту», «середня вологість грунту» та «висока вологість грунту», використовується наступна формула:

$$X_{min\,1} = X_{min},$$

$$X_{max\,1} = X_{min} + \frac{1}{3}(X_{max} - X_{min}),$$

$$X_{min\,2} = X_{max\,1},$$

$$X_{max\,2} = X_{min} + \frac{2}{3}(X_{max} - X_{min}),$$

$$X_{min\,3} = X_{max\,2},$$

$$X_{max\,3} = X_{max},$$

де $X_{min}, X_{max}$ – мінімальне та максимальне значення, яке може приймати змінна; $X_{min\,1}, X_{max\,1}, X_{min\,2}, X_{max\,2}, X_{min\,3}, X_{max\,3}$. – мінімальне та максимальне значення для кожного з трьох показників інтервального розбиття.

Графічно, таке представлення нечітких термів надано на рис. 1.

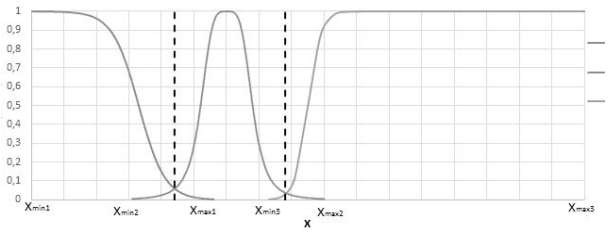



Рис. 1. Приклад графіку функцій лінгвістичної змінної з трьома рівнями

Для нечіткого планування збиральних робіт в різних кліматичних умовах, що реалізовано у вигляді правил з лінгвістичними змінними може бути використана модель Мамдані [8], яка є базовою нечіткою моделлю реалізованою наступними етапами:

- фаззифікація;
- агрегування передумов в нечітких правилах;
- активізація висновків нечітких правил;
- обєднання висновків нечітких правил;
- дефаззифікація.

При цьому база знань містить повний набір правил у вигляді:

$$\text{IF } \boldsymbol{R}(X_1,\alpha) \text{ AND } \boldsymbol{R}(X_2,\alpha) \text{ AND}\ldots \text{ AND } \boldsymbol{R}(X_n, \alpha) \text{ THEN } \boldsymbol{R}(Y_q, \alpha),$$

де $\boldsymbol{R}(X_i, \alpha)$, $\boldsymbol{R}(Y_q, \alpha)$ – нечіткі множини (нечіткі обмеження на значення вихідних та результуючих змінних).

Для кожного точного значення $\tilde{x}_j$ вихідної змінної $x_j$ етапи фазифікації виконуються за наступною формулою:

$$X_{x_i} = \left\{\left(\alpha \left| \mu_{X_{x_i}}(\alpha_i) = 0,\ \forall\alpha \in A_i,\ \alpha \neq \tilde{x}_j\right.\right), \left(\alpha \left| \mu_{X_{x_i}}(\alpha_i) = 1,\ \forall\alpha = \tilde{x}_j\right.\right)\right\}$$

Імітаційна модель планування збиральних робіт у різноманітних кліматичних умовах була реалізована за допомогою Fuzzy Logic Toolbox в середовищі Matlab. У моделі зконфігуровано вісім блоків для введення даних, і одинадцять блоків для фазифікації і обробки даних. Загальна модель (рис. 2) включає в себе всі параметри, які прямо і побічно впливають на планування збиральних робіт.

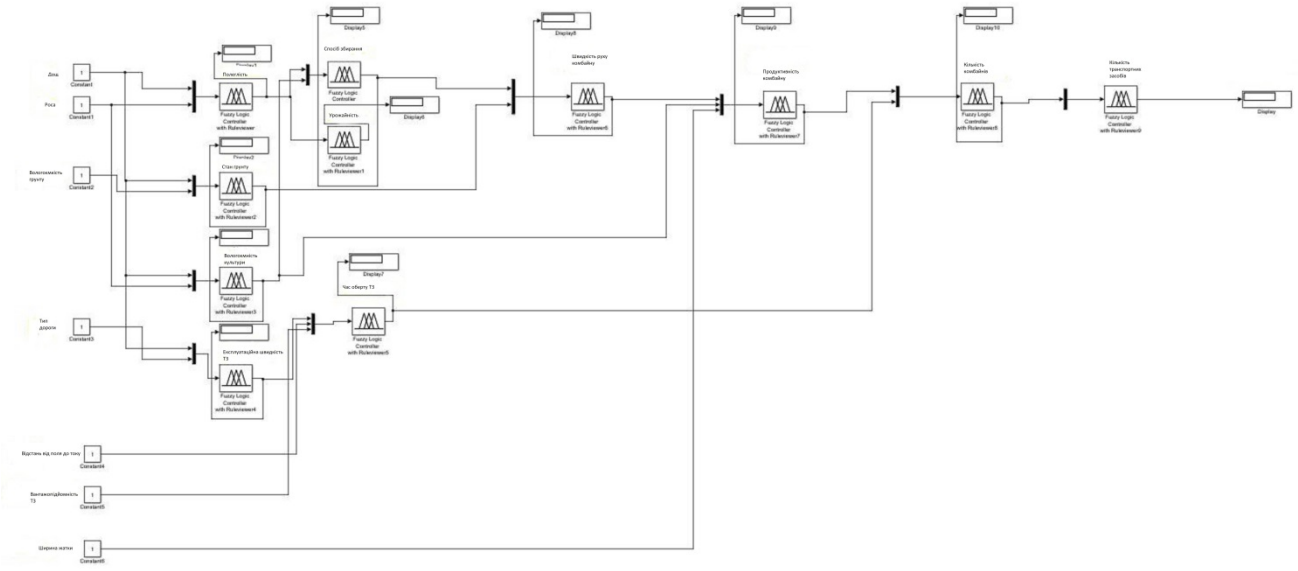


Рис. 2. Загальна модель даних системи

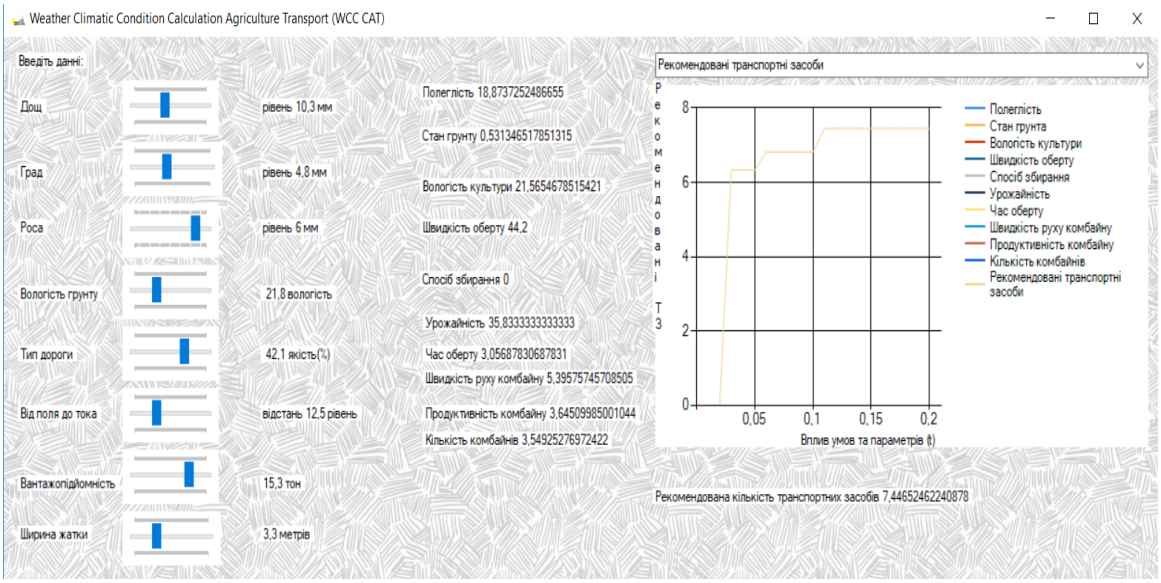



Рис. 3. Основне вікно програми «Weather Climatic Condition Calculation Agriculture Transport»

Таким чином, на вхід моделі надходить вісім числових даних, які вводить людина на основі датчиків або вимірювальних пристроїв. Введені дані не цілочисельні і мають певні межі в системі. При обробці даних і передачі значень від блоку до блоку, створюється певні інтервали значень параметрів, що передаються далі. Результатом роботи системи є кількість необхідних транспортних засобів. Дана імітаційна модель використовувалася для перевірки роботи базових алгоритмів. За результатами тестування було визначено, що використання на ланках між опорними точками функцій приналежностей моделі Мамдані нелінійної інтерполяції, у деяких випадках дозволяє підвищити точність моделі. Метод дефазицікації також впливає на точність моделі.

Система автоматизованої обробки експериментальної інформації – комп'ютерна програма «Weather Climatic Condition Calculation Agriculture Transport», одержує дані на основі вихідних даних користувача (умов та параметрів) за допомогою спеціальних компонентів, які базуються на основі теорії нечітких множин. Програма дозволяє ввести основні вхідні параметри та виводить на екран залежність кількості транспортних засобів (комбайнів) від погодно-кліматичних умов, технічних та технологічних параметрів системи, які допоможуть вдосконалити організацію транспортного процесу при збиранні врожаю ранньої пшениці з метою підвищення ефективності (рис. 3).

**Висновки.** В результаті роботи було розроблено і налаштовано механізм введення та обробки інформації для планування кількості транспортних засобів. Виявлено закономірності, які впливають на прийняття рішень, вплив вхідних параметрів, функцій приналежності та методів фазифікації на результат. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує запропоновані моделі. Надалі планується розробити структуру, яка дозволить користувачеві отримувати дані напряму з приладів, що значно полегшить роботу оператора і підвищіть точність результатів.

**Література**

1. Wieland R., Mirschel W., Nendel C., Specka X. Dynamic fuzzy models in agro-ecosystem modeling. Environmental Modelling and Software. – 2013. – No. 46. – pp. 44-49.
2. Waongo M. Optimizing Planting Dates for Agricultural Decision-Making under Climate Change over Burkina Faso/West Africa. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakult¨at f¨ur Angewandte Informatik der Universit¨at Augsburg, 2015. – 153 p.
3. Mohammed A., Gadallah A.M., Hefny H.A., Hazman M. Fuzzy based approach for discovering crops plantation knowledge from huge agro-climatic data respecting climate changes. – Computing. – 2018.
4. Ahumada O., Villalobos J. R. Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. International Journal Production Economics. – 2011. – Vol. 133. – pp. 677–687.
5. Ferrer J.C., MacCawley A., Maturana S., Toloza S., Vera, J. An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. International Journal of Production Economics. – 2007. – Vol. 112 (2). – pp. 985–999.
6. Ali O., Verlinden B., Oudheusden D.V. Infield logistics planning for crop-harvesting operations Engineering Optimization. – 2009. – Vol. 41(2). – pp. 183-197.
7. Герасимчук О. Б. Використання fuzzy-технології у задачах прийняття рішень //Актуальні проблеми економіки. – 2015. – №. 10. – С. 166-173.
8. Mamdani Fizzy Model – Електронний ресурс. Режим доступу http://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/mamdani-fuzzy-model.html (20.10.2018 р.)

**References**

1. Wieland R., Mirschel W., Nendel C., Specka X. Dynamic fuzzy models in agro-ecosystem modeling. Environmental Modelling and Software. – 2013. – No. 46. – pp. 44-49.

2. Waongo M. Optimizing Planting Dates for Agricultural Decision-Making under Climate Change over Burkina Faso/West Africa. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Fakult¨at f¨ur Angewandte Informatik der Universit¨at Augsburg, 2015. – 153 p.
3. Mohammed A., Gadallah A.M., Hefny H.A., Hazman M. Fuzzy based approach for discovering crops plantation knowledge from huge agro-climatic data respecting climate changes. – Computing. – 2018. DOI: 10.1007/s00607-018-0594-9
4. Ahumada O., Villalobos J. R. Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. International Journal Production Economics. – 2011. – Vol. 133. – pp. 677–687.
5. Ferrer J.C., MacCawley A., Maturana S., Toloza S., Vera, J. An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. International Journal of Production Economics. – 2007. – Vol. 112 (2). – pp. 985–999.
6. Ali O., Verlinden B., Oudheusden D.V. Infield logistics planning for crop-harvesting operations Engineering Optimization. – 2009. – Vol. 41(2). – pp. 183-197.
7. Герасимчук О. Б. Використання fuzzy-технології у задачах прийняття рішень //Актуальні проблеми економіки. – 2015. – №. 10. – С. 166-173.
8. Mamdani Fizzy Model Available at: http://researchhubs.com/post/engineering/fuzzy-system/mamdani-fuzzy-model.html (20.10.2018 р.)

**Барбарук Л.В., Зубарев Д. В., Медведев Е.М., Барбарук В.М. Использование нечетких моделей для планирования уборочных работ в различных климатических условиях**

*В статье рассмотрен вопрос разработки программного средства для поддержки принятия решений по количеству транспортных средств для реализации оптимального процесса сбора урожая на полях в разных условиях. Суть подхода заключается в использовании нечетких моделей для расчета границ интервалов параметров и интерпретации лингвистических переменных для обеспечения широкого привлечения экспертных оценок при планировании уборочных работ. Для настройки системы использовано имитационное моделирование. Выявлены закономерности, которые влияют на принятие решений, определено влияние входных параметров, функций принадлежности и методов фаззификации. Представлено краткое описание разработанного программного обеспечения.*

***Ключевые слова:*** *нечеткая модель, планирование, уборочные работы, климатические условия, нечеткий вывод Мамдани, программа.*

**Barbaruk L.V., Zubarev D.V., Medvedev E.M., Barbaruk V.M. Using fuzzy models for planning crop-harvesting operations under different climatic conditions**

*The article deals with the development of software to support decision-making on the number of vehicles for the implementation of the optimal crop harvesting process in different conditions. The essence of the approach is to use fuzzy models for calculating the boundaries of the parameter intervals and interpreting linguistic variables to ensure a broad involvement of expert assessments when planning harvesting. To set up the system used simulation. The patterns that influence decision making are identified, the influence of input parameters, membership functions and fuzzification methods is determined. A brief description of the developed software is presented.*

***Keywords:*** *fuzzy model, planning, harvesting, climatic conditions, fuzzy conclusion Mamdani, program.*

**Барбарук Ліна Вікторівна** старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: barbaruk.angelina@gmail.com
**Медведєв Євген Павлович,** старший викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: medevdev.ep@gmail.com
**Зубарев Дмитро Валерійович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: prototip2494@gmail.com
**Барбарук Віктор Миколайович,** директор центру удосконалення освіти, доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: barbaruk_vn@i.ua

Рецензент: д.т.н., проф. ***Горбунов М.І.***

Статья подана 29.11.2018

УДК 004.451.62

# ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО РЕЄСТРУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В SMART GRID

**Грушка М.О., Скарга-Бандурова І.С., Коцюба І.В.**

# USING THE DISTRIBUTED LEDGER TECHNOLOGY TO ENHANCE THE SECURITY OF RELAY PROTECTION SYSTEMS IN SMART GRID

**Hrushka M.O., Skarga-Bandurova I.S., Kotsiuba I.V.**

*Робота присвячена вирішенню задачі підвищення безпеки використання систем релейного захисту та автоматики (РЗА). Проведено аналіз існуючих стандартів, що описують основні принципи побудови і використання систем РЗА, виділені основні недоліки існуючих стандартів. Запропоновано технологію для збереження конфігурацій у захищеній розподіленій базі даних, в межах підстанції, за допомогою використання концепції розподіленого реєстру, що дозволить спростити операцію заміни обладнання і забезпечити необхідний рівень безпеки.*

***Ключові слова:*** *технологія розподіленого реєстру, релейний захист та автоматика, безпека, smart grid*

**Вступ.** Безпечне функціонування інтелектуальних енергетичних мереж або Smart Grid сильно залежить від інформаційних і комунікаційних технологій та їх кібер-інфраструктури. Кібербезпека є дуже актуальною проблемою при застосуванні на мережевому та фізичному рівнях інфраструктури Smart Grid. На даний момент, більшість постачальників енергетичних послуг використовують традиційні заходи безпеки - аутентифікацію, контроль доступу, авторизацію, шифрування даних, інфраструктуру з відкритим ключем, брандмауери, аналіз журналів, системи виявлення вторгнень, протоколи мережевої безпеки, тощо. Разом з тим, останні кібератаки на енергетичні системи показали значний розрив між можливостями захисту і відновлення традиційних систем і новими вимогами до безпеки, особливо в контексті інтелектуалізації енергетичних систем і технологій розподілу та передачі енергії. Через кібератаки мережа може зіткнутися з експлуатаційними збоями і втратою синхронізації. Такі відмови можуть привести до пошкодження фізичних компонентів системи електроживлення, ящо може перервати електропостачання і привести до нестійкості системи і, як наслідок, значних фінансових втрат.

Основним документом, що регламентує діяльність в галузі забезпечення безпеки фізичних компонент електроенергетичних систем є стандарт IEC 61850 «Мережі та системи зв’язку на підстанціях» [1]. Область застосування стандарту - системи зв'язку всередині підстанції. Однією з основних вимог до систем збору даних в стандарті є забезпечення здатності мікропроцесорних електронних пристроїв до обміну технологічними й іншими даними, зокрема стандарт пред'являє наступні вимоги до системи [2]:

- Високошвидкісний обмін даними мікропроцесорних електронних пристроїв між собою (одноранговий зв'язок).
- Прив'язка до підстанційної локальної обчислювальної мережі.
- Висока надійність.
- Гарантований час доставки.
- Функціональна сумісність обладнання різних виробників.
- Засоби підтримки читання осцилограм.
- Засоби підтримки передачі файлів.
- Конфігурація / автоматичне конфігурування.
- Підтримка функцій безпеки.

Усі правила організації безпеки регламентовані стандартом IEC 62351 згідно якого усі TCP/IP з’єднання мають бути захищені шляхом використання TLS[3]. Кожний мікропроцесорний пристрій повинен мати публічний (у форматі X.509 сертифікату) та приватний ключ, що використовуються для створення TLS сессій. Сертифікат X.509 містить набір даних за якими однозначно можна ідентифікувати пристрій, якому він належить.

Згідно IEC 61850, пристрої релейного захисту та автоматики (РЗА) об'єднані шиною, по якій самі пристрої обмінюються даними між собою і передають ці дані на верхній рівень. Дані від

терміналів релейного захисту по станційній шині можуть передаватися на верхній рівень оператору, крім того, у контролюючих органів, які мають відповідний рівень доступу, є можливість отримувати оперативні дані з будь-якої підстанції і з будь-якого терміналу РЗА. Ця інформація дозволяє контролювати діяльність підпорядкованих служб, що підвищує надійність енергетичних об'єктів в цілому. Основними протоколами передачі даних, відповідно до стандарту IEC 61850, є протоколи MMS і GOOSE. MMS використовується для передачі даних від терміналів РЗА в SCADA систему для подальшої візуалізації, а GOOSE - для обміну даними між терміналами. До обмежень стандарту можна віднести [4]:

– Відсутність чітко регламентованих вимог щодо того, як саме мають бути реалізовані сервісні функції (діагностика, конфігурування, оновлення, відновлення).

– Відсутність вимог до універсального інженерного програмного забезпечення, що дозволяло б охопити усі етапи конфігурування систем, які збудовані із використанням устаткування від різних виробників.

Останній пункт, а саме використання устаткування від різних виробників, унеможливлює автоматичне конфігурування обладнання в разі необхідності його заміни. У такому випадку кожна заміна потребує часу та залучення висококваліфікованого персоналу, більш того, існує потенційна загроза втручання, оскільки така діяльність також не регламентується.

**Метою роботи** є підвищення стійкості систем релейного захисту та автоматики.

У статті пропонується технологія збереження конфігурацій у захищеній розподіленій базі даних, в межах підстанції, за допомогою використання технології розподіленого реєстру, що дозволить спростити операцію заміни обладнання і забезпечити необхідний рівень безпеки.

**Пропоноване рішення.** Технологія розподіленого реєстру (Distributed ledger technology, або DLT) - це технологія зберігання інформації, ключовими особливостями якої є спільне використання та синхронізація цифрових даних в базі даних, що розподілена між декількома мережевими вузлами та обчислювальними пристроями.

Кожен вузол складає і записує оновлення реєстру незалежно від інших вузлів. Ключовим фактом є те, що впровадження DLT рішення не суперечить існуючим положенням стандарту, оскільки увесь необхідний криптографічний базис, а саме асиметрична криптографія, цифровий підпис та сертифікати, що потрібен для створення DLT рішення є невід'ємною частиною стандарту.

Критерії запропонованого DLT рішення:

– Необхідність збереження стану конфігурації;

– Наявність множини пристроїв, що мають змогу писати у блокчейн;

– Відсутність доступу до довіреного джерела(що мало б створювати або верифікувати блоки);

– Всі пристрої відомі, кожен пристрів можна ідентифікувати;

– Всі пристрої є довіреними;

– Відсутня необхідність можливості сторонньої верифікації;

За наведеними критеріями запропоноване DLT рішення відноситься до Private Permissioned Blockchain [5].

Первинний або genesis блок – це блок, від якого беруть початок ланцюги блоків (рис. 1). Під час виконання первинної конфігурації системи до первинного блоку кожен мікропроцесорний пристрій вносить транзакції із інформацією про конфігурацію.

Кожна транзакція, що увійде до складу первинного блоку складається з наступного блоку інформації:

– Ідентифікаційні дані, за якими можна встановити фізичне місце установки пристрою;

– Дані за якими однозначно можна ідентифікувати пристрій(фізично, такими даними є заводський код та заводський номер);

– Прикладна конфігурація;

– Публічний сертифікат x.509;

– Версія програмного забезпечення;

– Цифровий підпис.

Рис. 1. Структура первинного блоку

Конфігурація пристрою містить інформацію про можливе функціональне призначення пристрою, кількості та призначенню блоків та підключений пристрій до винесеного терміналу керування.

Заводський код – код за яким можна визначити функціональне призначення пристрою, кількість та тип блоків.

Заводський номер – унікальний номер мікропроцесорного пристрою РЗА.

Прикладна конфігурація описує фактичну виконувану роль пристроєм. Наприклад, за заводським кодом можна визначити, що пристрій має 12 блоків.

Прикладна конфігурація містить налаштування необхідні для взаємодії з пристроями зв'язку з об'єктом (ПЗзО) та взаємодії з обладнаннями на рівні з'єднання між IEC61850 серверами за допомогою протоколу GOOSE.

Версія програмного забезпечення необхідна для подальшої коректної роботи системи оновлення та відновлення програмного забезпечення.

Первинний блок створюється за допомогою проектувального інженерного програмного забезпечення.

Кожен екземпляр інженерного забезпечення має свої публічний сертифікат та приватний ключ. Приватний ключ використовується для створення цифрового підпису первинного блоку та на етапі створення/заміни сертифікатів для мікропроцесорних пристроїв релейного захисту та автоматики. Публічний сертифікат містить дані про інженерне програмне забезпечення за допомогою якого було спроектовано конфігурацію об'єкту та дані про розробника конфігурації. Публічний сертифікат поміщується у пам'ять кожного пристрою, конфігурацію якого було створено за допомогою системи автоматизованого проектування. Приватний ключ є секретним і зберігається у єдиному екземплярі у уповноваженої особи.

За допомогою інженерного програмного забезпечення для кожного мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики генеруються публічний сертифікат x.509 та приватний сертифікат.

Публічний сертифікат x.509 містить публічний ключ, ідентифікаційні дані пристрою, цифровий підпис, що зроблений із використанням приватного ключа екземпляра інженерного проектувального програмного забезпечення,що підтверджує достовірність даного сертифікату. Приватний сертифікат складається із приватного ключа та цифрового підпису.

Після формування первинного блоку можливо змінити конфігурацію існуючого обладнання. Для цього користувач має змінити поточну конфігурацію та створити запит на зміну конфігурації. У разі створення такого запиту пристрій відправить у блокчейн транзакцію, що за своєю структурою повторює транзакцію, що увійшла до первинного блоку, але міститиме вже нову конфігурацію та цифровий підпис, що створений із використанням власного приватного сертифікату пристрою, для якого була виконана зміна конфігурації. У результаті обробки транзакції у реконфігураційний ланцюг буде доданий новий блок, що буде містити хеш останнього реконфігураційного (RECONF) блоку, транзакцію та цифровий підпис

Також після формування первинного блоку можливо додати нове обладнання.

За допомогою інженерного програмного забезпечення створюється конфігурація для нового пристрою. За допомогою інженерного програмного забезпечення у блокчейн записується блок типу ADD, що містить хеш попереднього блоку типу ADD або хеш первинного блоку, транзакція що повторює за структурою транзакції з первинного блоку та цифровий підпис створений за допомогою приватного ключа екземпляру інженерного програмного забезпечення.

Для кожного мікропроцесорного пристрою РЗА можна отримати поточну конфігурацію та історію зміни конфігурації з блокчейну. Ідентифікація пристрою виконується за допомогою ідентифікаційних даних місця встановлення пристрою.

Далі, розглянуто яких змін, за умови використання запропонованого DLT рішення, набуває процедура заміни, видалення або оновлення обладнання, що вийшло з ладу.

1) Заміна обладнання. Виконується монтаж резервного мікропроцесорного пристрою РЗА. Пристрій виконує запит до локальної мережі, визначає своє фізичне розташування, отримує з блокчейну конфігурацію пристрою, який вийшов з ладу, перевіряє сумісність апаратного забезпечення та сумісність версій програмного забезпечення. У разі відповідності створює транзакцію, поле конфігурації в якій відповідає останній конфігурації приладу, що вийшов із ладу. Цифровий підпис для транзакції створюється за допомогою приватного сертифікату резервного пристрою.

2) Видалення пристрою. Видалення пристрою (у разі відсутності подальшої потреби в ньому або крадіжки) може бути виконано авторизованою особою з IEC61850 клієнту (SCADA) або за допомогою інженерного програмного забезпечення.

Для видалення пристрою створюється транзакція для кожного пристрою що необхідно видалити, що попадає в блок типу DEL. У разі видалення за допомогою клієнту – блок містить публічний сертифікат клієнта та цифровий підпис, сгенерований за допомогою приватного ключа клієнту.

У разі видалення пристрою за допомогою інженерного програмного забезпечення блок містить публічний сертифікат екземпляра інженерного програмного забезпечення та цифровий підпис, що сгенерований за допомоги приватного ключа екземпляра інженерного програмного забезпечення.

Варто відзначити, що завдяки використанню DLT операція заміни обладнання не потребує втручання висококваліфікованих спеціалістів.

3) Оновлення/відновлення програмного забезпечення. Ця операція описана для мікропроцесорних пристроїв РЗА, що побудовані на базі процесорів з ARM архітектурою та керовані за допомогою Linux.

Розглянемо структурні програмні компоненти

- Завантажувач
- Ядро
- Операційна система
- Прикладне програмне забезпечення

Кожен структурний компонент має свою версію і може бути оновлений окремо.

На базі чотирьох версій формується узагальнена версія програмного забезпечення, що входить до складу транзакцій первинного блоку та блоків ланцюгу «зміни стану ПЗ». Блоки у ланцюгу «зміни стану ПЗ» можна поділити на 2 типи:

– Блоки оновлення програмного забезпечення
– Блоки відновлення програмного забезпечення

Блок оновлення містить наступну інформацію:

– Дані за якими однозначно можна ідентифікувати пристрій
– Нова версія програмного забезпечення;
– Джерело файлу оновлення програмного забезпечення;
– Публічний сертифікат x.509;
– Цифровий підпис.

Джерело файлу оновлення програмного забезпечення – USB накопичувач, інший IEC61850 сервер у мережі, термінал керування верхнього рівня.

IEC61850 сервер може запросити файл оновлення системи з іншого IEC61850 серверу. Для цього виконується пошук у блокчейні пристроїв, що мають необхідну версію програмного забезпечення. Відбувається встановлення захищеного з'єднання(TLS) та отримання файлу оновлення. Цілісність та аутентифікованість файлу оновлення гарантується за рахунок захищеного(TLS) каналу обміну.

Блок відновлення містить наступну інформацію:

– Дані за якими однозначно можна ідентифікувати пристрій;
– Версія програмного забезпечення;
– IEC61850 сервера, що стали джерелами для відновлення;
– Інформація про пошкоджені ділянки ПЗ;
– Публічний сертифікат x.509;
– Цифровий підпис.

Операція відновлення необхідна у разі виявлення невідповідності контрольних сум структурних компонент програмного забезпечення. Може виникати внаслідок впливу надзвичайно сильного електромагнітного поля або в разі невдалого оновлення ПЗ (операція оновлення не завершена до кінця і не має джерела для коректного завершення оновлення).

В разі виявлення невідповідності контрольної суми за допомогою диференційованих контрольних сум структурної компоненти визначається пошкоджена ділянка. Виконується пошук пристроїв, що мають ту ж саму версію програмного забезпечення та виконується запит на отримання відсутньої (ділянки, що була пошкоджена) ділянки даних.

З метою забезпечення можливості аналізу результатів виникнення надзвичайних аварійних ситуацій в роботі пропонується ввести ланцюг, що містить блоки з аварійними ситуаціями. У режимі нормального функціонування та наявності зв'язку з верхнім рівнем (SCADA клієнтом) інформація про аварійні ситуації зберігається на верхньому рівні. У разі виникнення надзвичайної ситуації та відсутності зв'язку з верхнім рівнем зберігання даних про аварійні ситуації на пристрої, що зафіксував аварію може призвести до втрати інформації і неможливості подальшого аналізу причин надзвичайних ситуацій.

У разі відсутності зв'язку з верхнім рівнем пристрій релейного зв'язку і автоматики створює транзакцію, що увійде до блоку типу EMERGENCY ланцюга блоків з аварійними даними.

Блоки EMERGENCY є найбільшими за розміром, бо містять дані аварійного осцилографу. Блоки в ланцюгу зберігаються до тих пір, поки відсутній зв'язок з верхнім рівнем. Ланцюг блоків із аварійними даними є єдиним ланцюгом, блоки якого видаляються.

Після відновлення зв'язку з верхнім рівнем - блок, у якому були дані аварійного осцилографу буде замінений на блок типу PROCESSED_EMERGENCY що містить лише загальні дані про зафіксовану аварійну ситуацію. Дані аварійного осцилографу будуть надіслані до верхнього рівня.

Розглянемо функціонування DLT на прикладі (рис. 2). A,B,C,D,E – окремі періоди часу, 1,2,3,4 – IEC61850 сервери.

Синім кольором позначено ланцюг блоків операцій зміни конфігурації. Такі блоки генеруються виключно за допомогою інженерного програмного забезпечення. Вони є джерелом конфігурації у разі необхідності заміни обладнання. Блоки поділяються на три типи:

– Блоки, що містять інформацію про новий пристрій (ADD)
– Блоки, що містять нову конфігурацію для існуючого пристрою (RECONF)
– Блоки, що містять інфомацію про видалення пристрою (DEL)

Жовтим кольором позначено ланцюг блоків зміни стану програмного забезпечення.

Червоним кольором позначено ланцюг блоків з інформацією про аварійні ситуації, що на момент виникнення не були надіслані на верхній рівень.

У момент часу A виконано операцію оновлення для пристрою 1. Пристрій 1 створює транзакцію, що входить до складу блоку UPDATE ланцюга блоків зміни.

У момент часу B додано новий пристрій 2. У ланцюг блоків операцій зміни конфігурації додано новий блок типу ADD.

Момент часу C: Внаслідок додавання пристрою 2 виникла необхідність у реконфігурації пристрою 3. Створено відповідний блок типу RECONF, що увійшов у ланцюг блоків операцій зміни конфігурації.

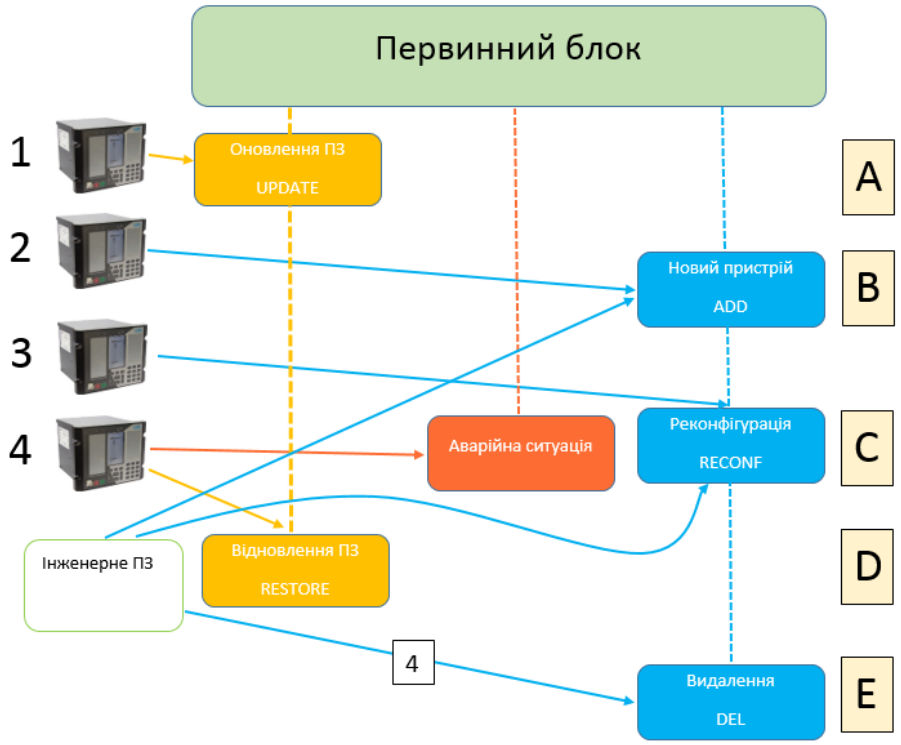



Рис. 2. Схема обміну даними між ланцюгами

- - - - - - - - Ланцюг блоків зміни стану ПЗ

- - - - - - - - Ланцюг блоків з аварійними даними

----------Ланцюг блоків операцій зміни конфігурації

Зв'язок із верхнім рівнем був відсутній. Виникла аварійна ситуація. Був створений блок із даними про аварійну ситуацію

Момент часу D: фонова діагностика виявила пошкодження програмного забезпечення пристрою 4. Виконано операцію відновлення. Відповідний блок типу RESTORE занесений до ланцюга блоків зміни стану ПЗ.

Момент часу E: зникла необхідність у наявності пристрою 4. Створено відповідний блок типу DEL, що увійшов у ланцюг блоків операцій зміни конфігурації.

Таким чином, з представленого вище прикладу видно, що по суті, ми маємо постійно зростаючий реєстр записів. Всі дані, що збережені в попередніх блоках не можна видаляти або змінювати. Тому ця технологія добре підходить для запису подій, управління записами, обробки і відстеження операцій.

**Висновки.** В цілому, робота показала потенційну можливість використання технології розподіленого реєстру для підтримки функцій безпечного конфігурування різноманітних систем РЗА, що використовуються в Smart Grid. Подальші дослідження будуть направлені на аналіз існуючих підходів зберігання даних у розподілених системах для мінімізації об'єму інформації, що зберігається на вузлах розподіленого реєстру; аналіз принципів побудови логічних пристроїв з метою створення логічного пристрою для взаємодії з запропонованим рішенням та розробку програмного забезпечення розподіленого реєстру.

**Література**

1. IEC61850: Communication Network and System in Substations: An Overview for Users. URL: http://www.gegridsolutions.com/multilin/journals/issues/spring09/iec61850.pdf (дата звернення 15.10.2018).
2. Ковцова И.О. Обработка и передача данных для классических и цифровых электроподстанций : монография. М.: Прометей, 2016. 236 с.
3. IEC 62351-6 Security for IEC 61850 GOOSE, GSSE, and SMV Profiles http://xanthus-consulting.com/IntelliGrid_Architecture/New_Technologies/Tech_IEC_62351-6_Security_for_IEC_61850_GOOSE,_GSSE,_and_SMV_Prof.htm (дата звернення 15.10.2018).
4. МЭК 61850 URL: http://cons-systems.ru/m-k-61850 (дата звернення 15.10.2018).
5. Wüst K., Gervais A. Do you need a Blockchain? IACR Cryptol. ePrint Arch., 2017, p. 375. URL: http://eprint.iacr.org/2017/ 375 (дата звернення 15.10.2018).

**R e f e r e n c e s**

1. IEC61850: Communication Network and System in Substations: An Overview for Users. Available at: http://www.gegridsolutions.com/multilin/journals/issues/spring09/iec61850.pdf (15.10.2018).
2. Kovtsova I.O. Data processing and transmission for classic and digital power substations: monography. M.: Prometey, 2016. 236 p.
3. IEC 62351-6 Security for IEC 61850 GOOSE, GSSE, and SMV Profiles Available at: http://xanthus-consulting.com/IntelliGrid_Architecture/New_Technologies/Tech_IEC_62351-6_Security_for_IEC_61850_GOOSE,_GSSE,_and_SMV_Prof.htm (15.10.2018).
4. IEC 61850 Available at: http://cons-systems.ru/m-k-61850 (15.10.2018).
5. Wüst K., Gervais A. Do you need a Blockchain? IACR Cryptol. ePrint Arch., 2017, p. 375. Available at: http://eprint.iacr.org/2017/ 375 (15.10.2018).

**Грушка М.А., Скарга-Бандурова И.С., Коцюба И.В. Использование технологии распределенных реестров для повышения безопасности систем релейной защиты в Smart Grid**

*Работа посвящена решению задачи повышения безопасности использования систем релейной защиты и автоматики (РЗА). Проведен анализ существующих стандартов, описывающих основные принципы построения и использования систем РЗА, выделены основные недостатки существующих стандартов. Предложена технология для сохранения конфигураций в защищенной распределенной базе данных, в пределах подстанции, посредством использования концепции распределенного реестра, что позволит упростить операцию замены оборудования и обеспечить необходимый уровень безопасности.*

***Ключевые слова:*** *технология распределенного реестра, релейная защита и автоматика, безопасность, smart grid*

**Hrushka M.O., Skarga-Bandurova I.S., Kotsiuba I.V. Using the Distributed Ledger Technology to Enhance the Security of Relay Protection Systems in Smart Grid**

*The work is devoted to solving the problem of increasing the safety of using relay protection and automation systems (RPA). The analysis of the existing standards describing the basic principles of construction and use of the relay protection and automation systems is carried out, the main drawbacks of the existing standards are highlighted. A technology has been proposed for saving configurations in a secure distributed database, within a substation, by using the concept of a distributed registry, which will simplify the operation of replacing equipment and provide the necessary level of security.*

***Keywords:*** *distributed ledger technology, relay protection and automation, security, smart grid*

**Грушка М.О.,** аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: mikkgru@yahoo.com
**Скарга-Бандурова І.С.,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua
**Коцюба І.В.,** Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН Украни, email: i.kotsiuba@gmail.com

Рецензент: д.ен., проф. ***Д'яченко Ю.Ю.***

Статья подана 30.11.2018

УДК 004.415.2

# РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДВОФАЗНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

**Коцюба І.В., Гусаченко О.М., Чернобровкіна В.О., Старцева Ю.С.**

# ALGORITHM FOR LINE TWO-PHASE DISTANCE PROTECTION OF POWER SYSTEM

**Kotsiuba I.V., Gusachenko O.M, Chernobrovkina V.O, Startseva J.S.**

*У статті представлено аналіз підходів до дистанційного захисту електричних мереж. Запропоновано алгоритм двофазного чотирьох-ступеневого дистанційного захисту (ДЗ) лінії з селективним відключенням пошкоджених частин електричної мережі, що використовує кругову і полігональну характеристики. Надана методика тестування якості роботи алгоритму. Представлені результати порівняння запропонованого підходу з існуючими. Час спрацьовування ДЗ за запропонованою методикою складає 24 мс.*

***Ключові слова:*** *електрична мережа, дистанційний захист, алгоритм, коротке замикання, полігональна характеристика, кругова характеристика.*

**Вступ.** Лінії електропередачі є одним з найважливіших компонентів енергосистеми, що відповідають за доставку енергії від генеруючих установок до споживачів. Ці лінії характеризуються високою частотою відмов, оскільки в більшості випадків вони покривають великі відстані і піддаються впливу різних зовнішніх факторів та кліматичних умов. Для запобігання ушкоджень на лініях електропередачі найчастіше використовують метод, що грунтується на вимірюванні імпедансу лінії від реле до точки несправності з використанням величин напруги і струму. Разом з тим, в електричних мережах зі складною конфігурацією, що містять декілька джерел живлення, максимальні та спрямовані струмові захисти не можуть забезпечити селективного відключення короткого замикання (КЗ) і часто не задовольняють вимогам швидкодії. Струмові відсічення далеко не завжди можливо застосовувати, а поздовжні диференціальні захисти ліній можуть встановлюватися тільки на коротких лініях. Для захисту магістральних ліній і ліній з відгалуженнями від міжфазних КЗ застосовують ступінчаті дистанційні захисти, що також мають певні обмеження, зокрема по часу спрацьовування та стійкості.

Традиційно, селективне відключення пошкодженої ділянки електричної мережі полягає в виявленні місця КЗ та його відключення найближчим вимикачем, при цьому час спрацьовування $t$ дистанційного захисту (ДЗ) являє собою залежність від відстані $l$, що вимірюється від точки підключення реле захисту до місця КЗ [1]:

$$t = f(l),$$

Під стійкістю функціонування [2], в системах релейного захисту, розуміється здатність пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА) зберігати стабільність і точність вимірювання, як в сталих режимах так і за умов перехідних процесів.

**Аналіз підходів до дистанційного захисту.** В НПП Хартрон-Інкор [3] методом дискретного перетворення Фур'є [2, 4] здійснюється розрахунок векторів по виміряним миттєвим значенням для всіх вхідних сигналів (струмів і напруги) в ПМ РЗА «Діамант». ДЗ в «Діамант» має чотири ступені і форму характеристики кожного ступеня ДЗ, яка може бути задана тільки у вигляді кола (або сектора кола) з довільним розташуванням на комплексній площині в осях активного і реактивного опору. Час спрацювання захисту до 32 мс. ABB пропонує ДЗ з круговою і полігональною характеристикою [5]. Це дозволяє пристроям узгоджувати роботу з існуючими схемами зв'язку дистанційних захистів в енергосистемі. Час спрацювання захистів також до 32 мс. Simens в своєму пристрої SIPROTEC 7SA522 [6] використовують швидкі алгоритми (спрощена фільтрація струмів і напруги). Мінімальний час спрацьовування дистанційних органів 7SA522 – 22 мс, дистанційний захист REL531 визначає час спрацьовування 28 мс, а P442 дорівнює 26 мс.

Разом з тим все ще існує брак інформації щодо алгоритмів налаштування мікропроцесорних пристроїв, аналізу стійкості та часу спрацьовування пристроїв РЗА в аварійних режимах, та заходів по підвищенню їх надійності.

**Мета статті** – дослідити дію принципу логічної селективності в системі дистанційного захисту й, на прикладі терміналів ImPR1, розробити алгоритм, що забезпечує стійке функціонування системи та мінімальний час спрацьовуваня ДЗ.

**Матеріали дослідження.** В даній роботі розглядаються функції чотирьох-ступеневого дистанційного захисту, що використовують полігональні характеристики ступенів з установками за активним і реактивним (R і X) з'єднанням для захисту від міжфазних КЗ та замикань.

Матеріалами до розробки алгоритму релейного захисту є радіальна модель мережі. Дана мережа вимагає встановлення ДЗ. Предметом дослідження являється двофазний дистанційний захист та функціонування систем РЗА, схеми резервування комплектів релейного захисту стосовно захисту об'єктів (ліній електропередач).

На рис. 1 представлена структурна схема роботи АСУ об'єкта РЗА. Основним елементом, що реалізує логіку дистанційного захисту є термінал ImPR. Термінал функціонує на базі операційної системи Linux RT, що надає можливості використовувати майже усі переваги операційної системи у розробці системного програмного забезпечення, зокрема використання бібліотек готових модулів, що в свою чергу забезпечує швидке та безпечне оновлення (інтерфейси вводу/виводу, реалізація базових протоколів передачі інформації та ін.).

Термінал ImPR приймає на вхід аналогові та дискретні сигнали від вимірювальних трансформаторів струму та напруги (ВТС / ВТН), виконує прописану для нього логіку роботи згідно до якої генерує на виході дискретні сигнали, що є управляючими до вимикачів, роз'єднувачів та заземлюючих ножів. ДЗ побудовано з двох частин: полігональної і кругової характеристик. Дистанційний захист враховує що КЗ може бути через дугу, що має активний опір. Величина опору дуги залежить від величини струму і довжини дуги. При замиканні на землю струм менше, а довжина дуги значно більше. Тому й опір дуги значно більше. ДЗ тільки з круговою характеристикою є малоефективним, тому його використання зазвичай рекомендовано для резервного захисту шин 6-35 кВ з кабельними лініями [8]. У таких випадках кути навантаження і КЗ близькі один до одного. При таких напругах значний вплив на струм КЗ чинить активний опір електричної дуги. Навпроти, захист з полігональною характеристикою більш ефективний на довгих лініях високої напруги, де вплив активного опору дуги впливає менше.

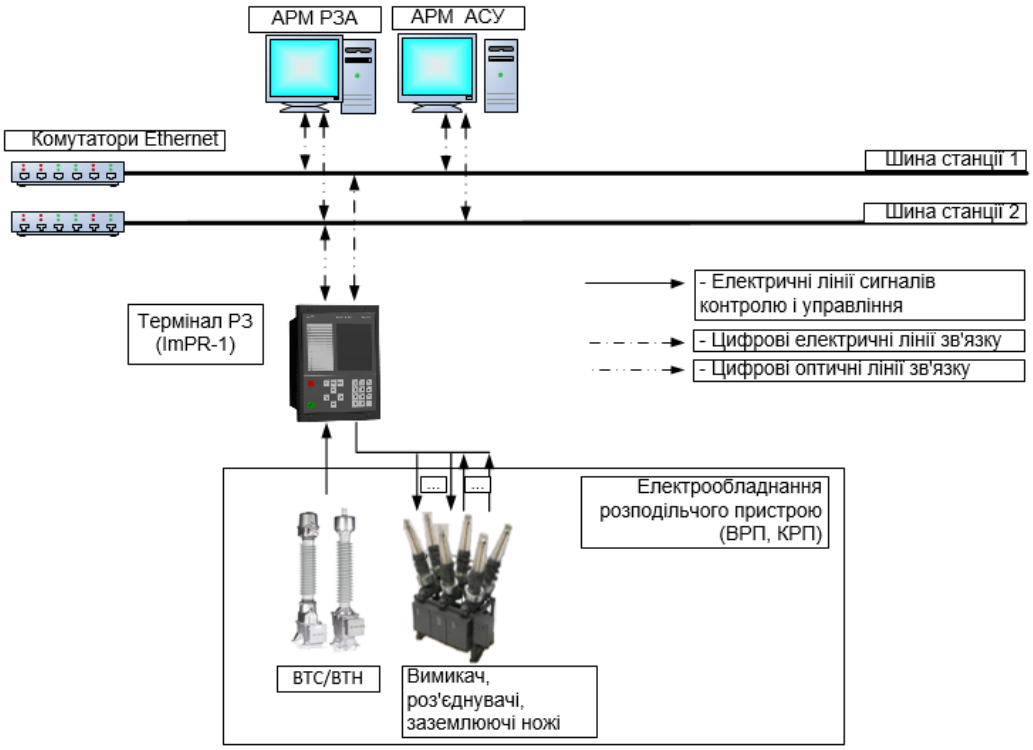



Рис. 1. Структурна схема АСУ об'єкта захисту і автоматики з застосуванням пристроїв серії ImPR [7]

Умовні позначення:

АРМ - автоматизоване робоче місце;
АСУ - автоматизована система управління;
АРМ РЗА - АРМ інженера-релейника (служби РЗА);
АРМ АСУ - АРМ служби АСУ;
ВТС - вимірювальний трансформатор струму;
ВТН - вимірювальний трансформатор напруги;
КРП - комплектний розподільний пристрій;
ВРП - відкритий розподільний пристрій.

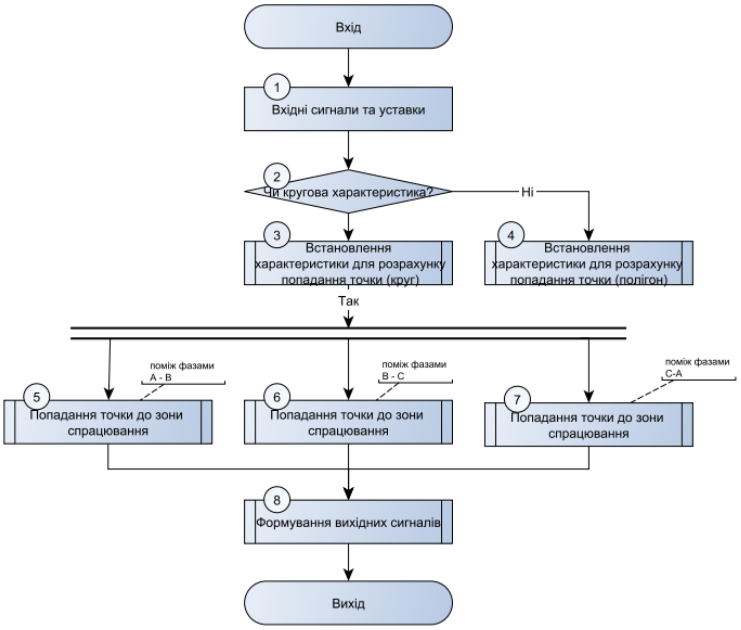



Рис. 2. Блок-схема алгоритму ДЗ

**Характеристики спрацьовування дистанційного захисту.** Узагальнена блок-схема алгоритма надана на рис. 2. Вона враховує можливість розрахунку ДЗ з полігональною та круговою характеристиками.

*ДЗ з полігональною характеристикою.* Структурна схема блоку ДЗ з полігональною характеристикою надана на рис. 3.

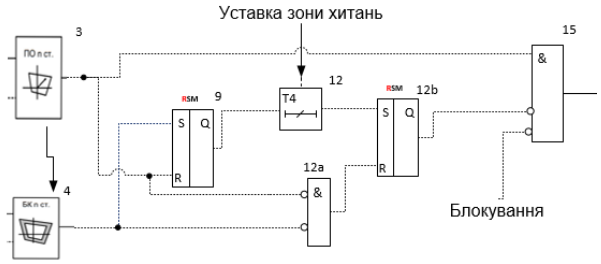



Рис. 3. Логічна схема блоку ДЗ з полігональною характеристикою: (3) блок попадання; (4) блок хитань; (9, 12b) блоки RS-тригерів; (12) блок таймера

Побудова полігональної характеристики складається з наступних кроків:

1. На входи блоків (3, 4) приходять значення лінійного опору трьох фаз у комплексній формі, що являє собою координати точки на площині у даний цикл. Формат вхідних даних: $Z_n(a+ib)$.

2. Блок зони попадання будує площину за заданими координатами: вказується кількість точок, з яких буде складатися площина (від 3 до 20 точок), а після задаються координати точок. Блок зони попадання видає одиницю на свій вихід тільки у випадках, якщо «точка» опору потрапила на площину попадання, яку він побудував. Послідовність побудови полігональної характеристики зображено на рис. 4.

3. Блок зони хитань будує зону (елементи 3 та 4 на рис. 4) заданим параметром ширини. Відбувається за таким принципом: Сторони площини, що відповідають за зону попадання представляються у вигляді прямих (тому що проходять через дві точки кожна), після цього прямі перпендикулярно, опущеного до кожної зі сторін, зміщуються на задану відстань. Після знаходяться точки перетину отриманих «нових» прямих і по ним будується нова площина.

На рис. 4 зображена послідовність зони попадання і зони хитань.

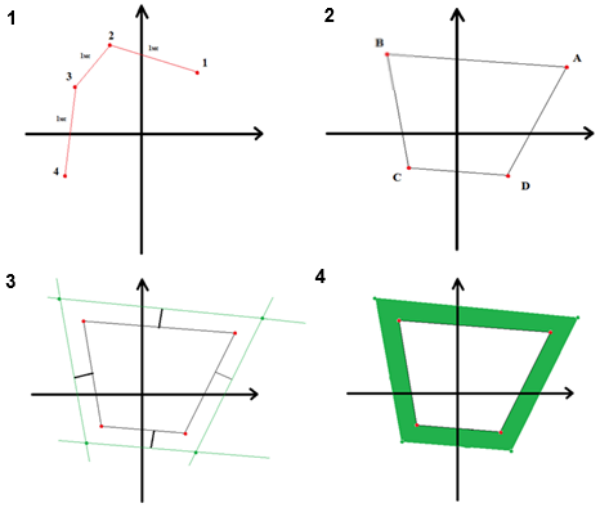



Рис. 4. Послідовність побудови полігональної характеристики: 1 - точки за якими будується площина; 2 - зона попадання; 3 - побудова зони із заданою уставкой ширини; 4 - блок зони хитань

У підсумку маємо границі між внутрішньою і зовнішньою площиною. Відстань між цими межами - зона хитань.

Згідно рис. 2, блок зони попадань видає одиницю тільки тоді, коли на його побудованій площині знаходиться точка (точки, тому що ДЗ приймає три лінійних опори і в сумі блоків зон хитань і спрацьовувань буде шість, але всі вони будуть ідентичними) (рис. 5).

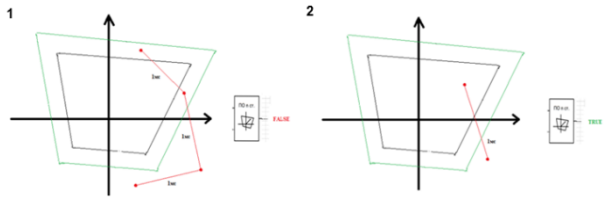



Рис. 5. Принцип формування сигналу по полігональній характеристиці: 1 – блок зони попадання видає 0; 2 – блок зони попадання видає 1

Блок-схему алгоритма формування сигналу про спрацьовування за полігональною характеристикою надано на рис. 6.

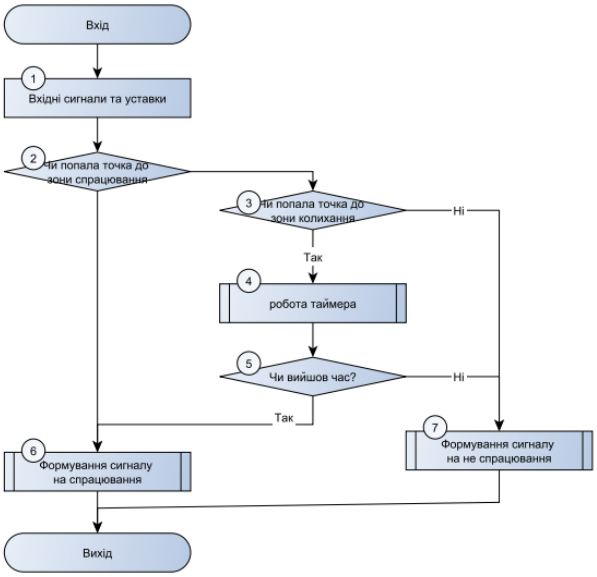



Рис. 6. Блок-схема алгоритма формування сигналу КЗ за полігональною характеристикою

Блок зони хитань видає одиницю тільки тоді, коли точка знаходиться в площині між двома кордонами або в зоні влучень. Вся схема взаємодії цих двох зон, яка зображена на рис. 5, побудована на двох тригерах з пріоритетом на скидання, двох елементів «І» і таймера (див. рис. 2).

Дистанційний орган видає сигнал короткого замикання, якщо вектор опору заходить до області зони хитання і після чого переходить до зони спрацьовування за час менший, ніж той, що задано таймеру (параметр часу зони хитань). Якщо час не вийшов – сигнал короткого замикання не видається. Вважається, що це «хитання» у системі. Якщо в полігональну характеристику приходить сигнал трифазного замикання, то плоскості мають зміститися на 30 градусів проти годинникової стрілки. При знятті цього сигналу, точки повертаються до свого початкового стану.

*ДЗ з круговою характеристикою.* Відмінність цього захисту від захисту, заданого полігональною характеристикою лише в тому, що замість точок площині, задається діаметр окружності та її зміщення. Принцип дії залишається той же. На рис. 7 надано логічну схему блоку ДЗ з круговою характеристикою.

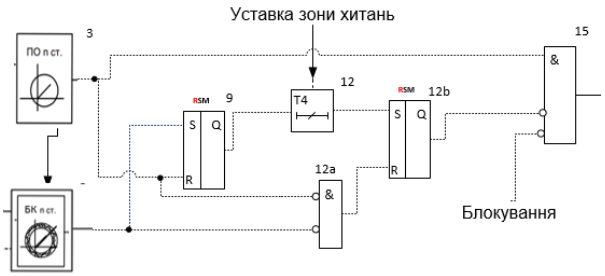



Рис. 7. Логічна схема блоку ДЗ круговою характеристикою

Якщо зміщення зони не задавати, то окружність буде проходити через початок координат і охоплювати три квадранта (рис. 8).

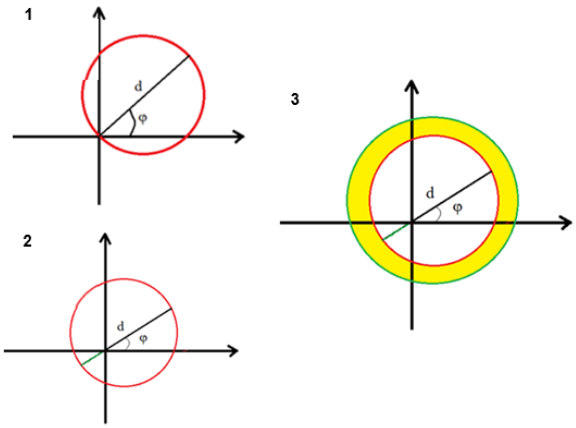



Рис. 8. Кругова характеристика: 1 – зона без зміщення, охоплює три квадранта; 2 – зона з зміщенням, охоплює чотири квадранта; 3 – площина зони хитань

Якщо зміщення задати, то окружність буде охоплювати всі чотири квадранта. Площина зони хитання - це коло більшого діаметра. Якщо в полігональну характеристику приходить сигнал трифазного замикання, то площини мають зміститися на 30 градусів проти годинникової стрілки. Це виконується поворотом діаметрів цих кіл на 30 градусів вліво.

**Елементи і логічна схема чотирьох-ступеневого двофазного ДЗ.**

На рис. 9 представлено логічну схему чотирьох ступенів двофазного 4PDIS [9]. Всі чотири ступені працюють однаково, але час спрацьовування кожного ступеня різний. Для першого ступеня мінімальний час – 0,015 с., для 2 – 0,03с., для 3 – 0,08 с., для 4 – 0,1 с.

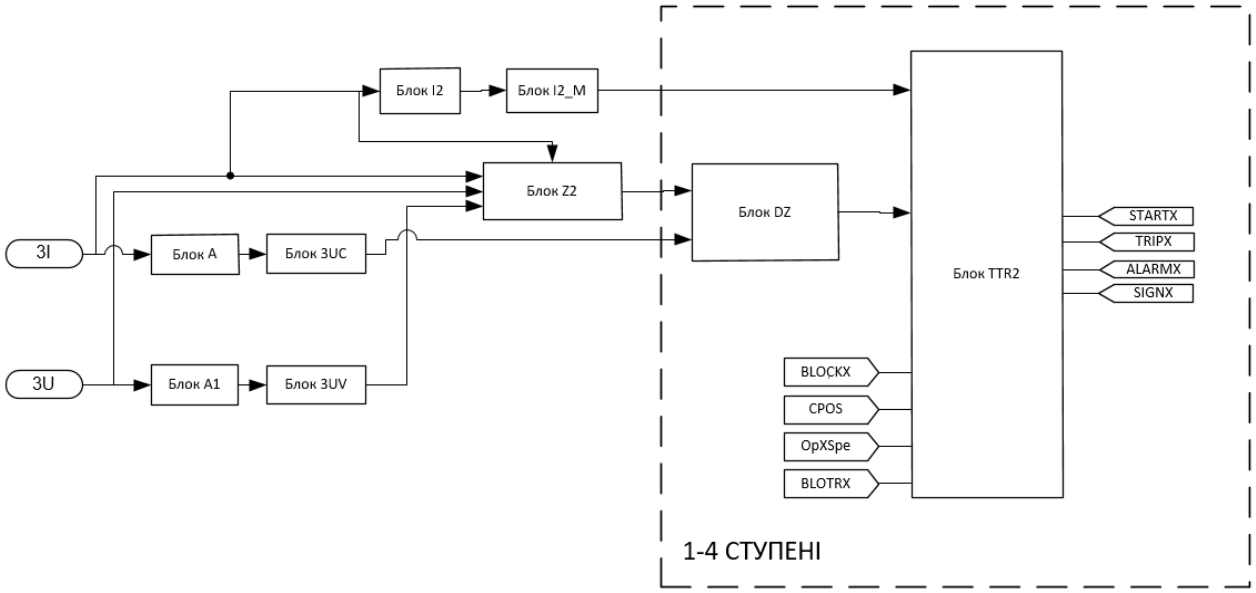



Рис. 9. Структурна схема чотирьох-ступеневого двофазного дистанційного захисту 4PDIS [9]

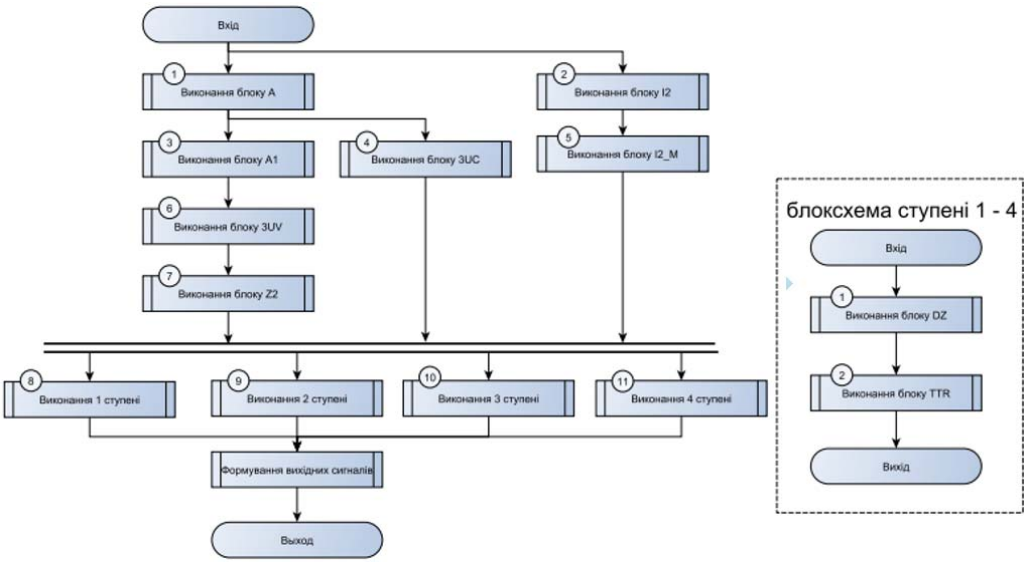



Рис. 10. Блок-схема алгоритму двофазного дистанційного захисту радіальних мереж

Взаємний зв'язок між органами дистанційного захисту, їх призначення і виконувані ними функції можна пояснити спрощеною схемою захисту із ступінчастою характеристикою.

4PDIS (рис. 9) складається блоків, кожен з яких виконує наступні функції:

A – вибір виду вимірюваних поточних значень струмів, а також їх кутових характеристик від SMAI;

A1 – вибір виду вимірюваних поточних значень струмів, комплексної форми величин фаз, та їх кутових характеристики від SMAI;

3UC – контроль фаз за мінімальним струмом;

3UV – контроль фаз по мінімальній напрузі.

Z2 – розрахунок комплексного опору;

I2 – контроль струмів другої гармоніки. Виконує функцію контролю струму другої гармоніки з пам'яттю, тобто при підвищенні струму вище уставки блокує блок пам'яті по другій гармоніці;

I2M – запам'ятовує в часі (уставка часу пам'яті) наявність підвищення струму другої гармоніки;

DZ – орган дистанційного захисту визначає віддаленість місця КЗ у ступінчастих захистах, виконується за допомогою реле мінімального опору. Приймає комплексний опір фаз і уставки для відповідних блоків. У цьому блоці задається характеристика ДЗ: полігональна або кругова;

TTR2 – таймер і управління логікою вихідних впливів - є блоком вихідних впливів. Через цей блок можна заблокувати роботу всіх ступенів або тільки необхідних, включити роботу на відключення або сигнал, включити оперативне прискорення. У назві дискретного сигналу є символ «x», який означає номер ступені. До зовнішніх вхідних дискретних сигналів відносяться:

– BLOCKx (введення / виведення ступені);

– BLOTRx (переключення захисту на відключення або сигнал);

– OpXSpe (блокування роботи оперативного прискорення ДЗ);

– CPOSx (реле положення «Відключено»).

Блок-схему алгоритма надано на рис. 10.

**Принцип дії чотирьох ступенів двофазного 4PDIS.** Блок 3UV контролює падіння напруги на кожній фазі, падіння напруги на будь-який з фаз запускає інший алгоритм розрахунку кута комплексного опору в блоці Z2. Блок 3UC контролює падіння струму на кожній фазі, при зниженні струму нижче уставки по кожній із фаз блокує роботу блоків DZ всіх ступенів. Блоки I2 і I2_M виконують функцію контролю струму другої гармоніки з пам'яттю. При підвищенні струму вище уставки, стартовий сигнал блоку I2 надходить в блок I2_M і логічний блок «І» (блокуючи його). Блок I2_M запам'ятовує на час (уставка часу пам'яті) наявність підвищення струму другої гармоніки. Після зняття сигналу в блоці I2, блокування елемента «І» знімається і сигнал перемикає елемент 20 на другий вхід (вхід трьох замикань). Якщо по закінченню часу (уставка часу пам'яті) ні по одному з рівнів не було спрацьовування блоку DZ, сигнал з I2_M знімається.

Токи і напруги фаз A, B, C приходять на входи блоку Z2, в якому відбувається розрахунок комплексних опорів A-B, B-C, C-A:

$$Z = \frac{r_1}{r_2\left(\cos(\phi_2 - \phi_1) + \sin(\phi_2 - \phi_1)\right)},$$

де $r_1$,$r_2$ – значення струмів/напруги; $\phi_1$, $\phi_2$ – кути похилу векторів,

$$r = \sqrt{a_\Sigma^2 + b_\Sigma^2},$$

де $a$ – різниця між реальною частиною комплексної величини двох фаз; $b$ – різниця поміж уявними частинами комплексних величин двох фаз.

Відповідно, кути:

$$\phi = \begin{cases} arctg\dfrac{b_\Sigma}{a_\Sigma}, \ \ якщо\ b > 0, \ \ a \geq 0; \\ \pi - arctg\left|\dfrac{b_\Sigma}{a_\Sigma}\right|, \ \ якщо\ b < 0, \ \ a \geq 0; \\ \pi + arctg\left|\dfrac{b_\Sigma}{a_\Sigma}\right|, \ \ якщо\ b < 0, \ \ a < 0; \\ 2\pi - arctg\left|\dfrac{b_\Sigma}{a_\Sigma}\right|, \ \ якщо\ b > 0, \ \ a < 0; \\ \dfrac{\pi}{2}, \ \ якщо\ b = 0, \ \ a > 0; \\ \dfrac{3\pi}{2}, \ \ якщо\ b = 0, \ \ a < 0. \end{cases}$$

Якщо сигнал мінімальної напруги присутній, то береться значення кута з минулого циклу і до нього додається 18° (і так доти, поки не зникне сигнал).

Далі значення опорів надходять в блок DZ, який в залежності від обраної характеристики (кругова або полігональна) будує по заданих точках (діаметру) площину (окружність), а також будує зону хитань, яка більше площині спрацьовування на заданий опір. При попаданні вектора комплексного опору в площину швидше заданого часу таймера зони хитань, на відповідний вихід подається одиниця, яка є стартовим сигналом для роботи блоку TTR2.

TTR2 є блоком вихідних впливів. Цей блок видає дискретні сигнали:

– ST (сигнал пуску по ступеню 1-4);

– TRIP (сигнал відключення ступеню 1-4);

– SIGN (сигнал попереджувальної сигналізації ступеню 1-4);

– ALARM (сигнал аварійної сигналізації ступеню 1-4).

Виходи з блоків TTR2 кожного ступеню за допомогою елементу логічного «або» об'єднуюсь в загальні виходи

– START (загальний сигнал пуску ДЗ);

– TRIP (загальний сигнал відключення ДЗ);

– SIGN (загальний сигнал попереджувальної сигналізації);

– ALARM (загальний сигнал аварійної сигналізації).

Вибір часу спрацьовування відбувався згідно з «Рекомендації з розрахунку уставок дистанційних ступенів захисту терміналів ImPR» [9].

**Експеримент.** З метою перевірки логіки розробленого алгоритму була зібрана тестова конфігурація захисту на пристрої захисту ImPR. Дана конфігурація тестувалася з допомогою підключення трифазної випробувальної установки CMC 356 компанії OMICRON з заданими вхідними параметрами близькими до реальних, що виникають при роботі захисту. Тестова конфігурація представлена на рис. 11.

Набір вхідних даних для експерименту включають в себе як оптимальні так і аварійні параметри роботи мережі. Тестування спрямованої характеристики проводилося за допомогою программного модуля Advanced distance, що входить до складу стандартного програмного забезпечення ПК Test Universe [10]. Цей модуль дозволяє тестувати час відключення всіх активних зон. Існує три тестових модуля для чотиристоронніх зон.

Можлива перевірка наступних типів несправностей [11]:

– Тип несправності A-N;

– Тип несправності B-C;

– Тип несправності A-B-C.

Час відключення зони перевірявся за допомогою тестового знімка, який міститься в 90% кожної активної зони. Ці знімки встановлюються в напрямку лінії імпедансу.

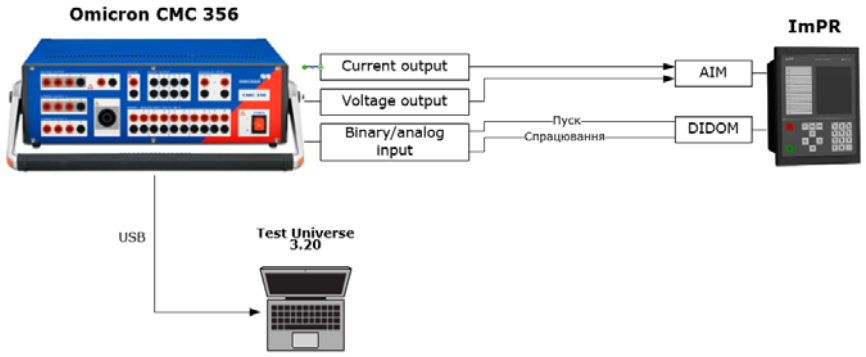



Рис. 11. Структурна схема випробувальної установки для термінала ImPR:
AIM - Модуль введення аналогових сигналів:
DIDOM - Модуль введення дискретних сигналів

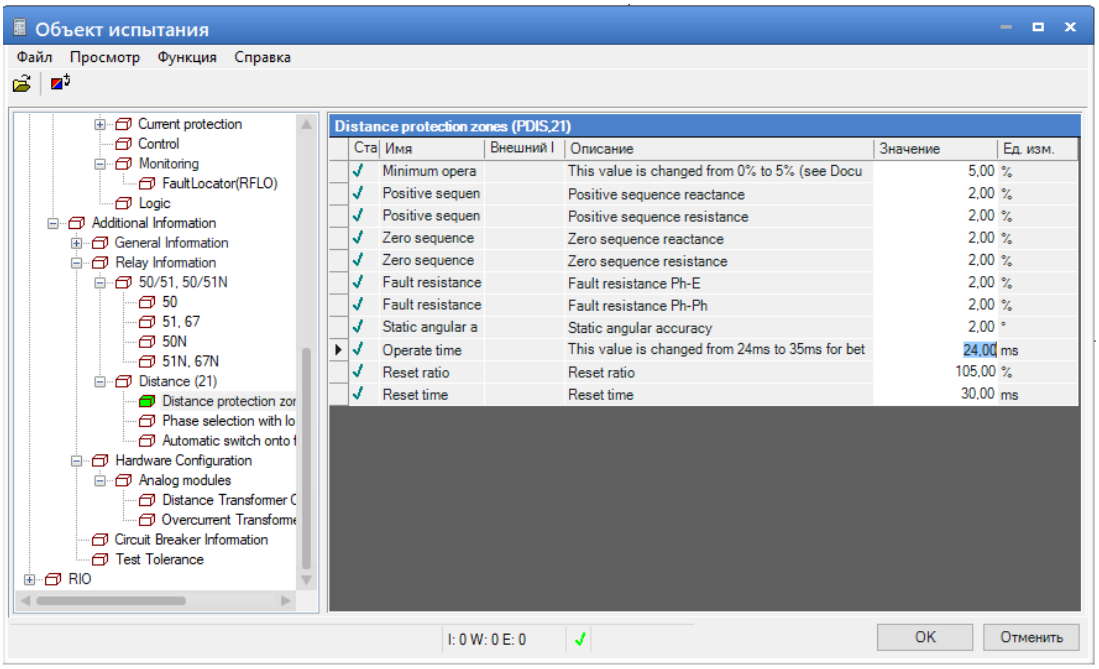



Рис. 12. Завдання мінімального часу спрацьовування захисту

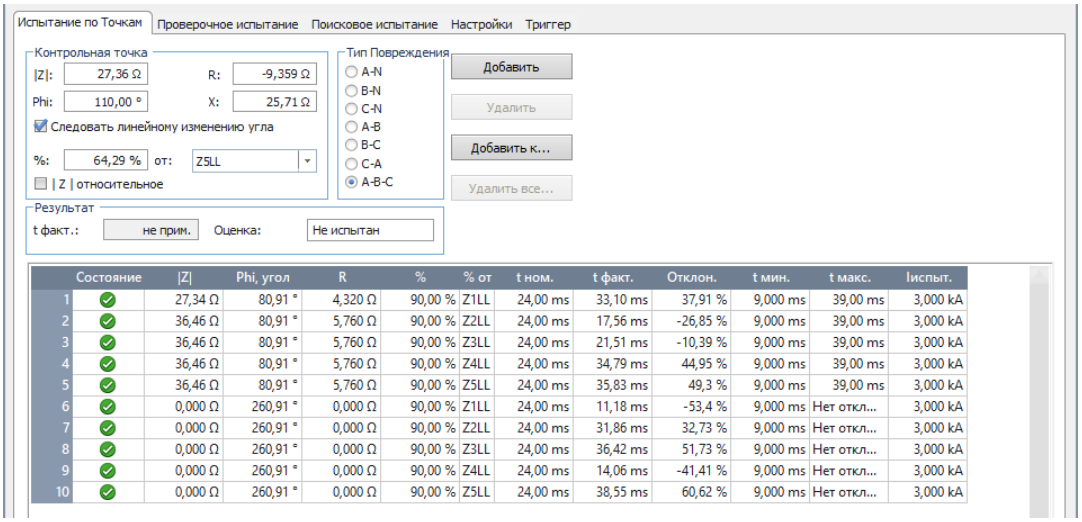



Рис. 13. Завдання ліній пошуку при пошуковому випробуванні

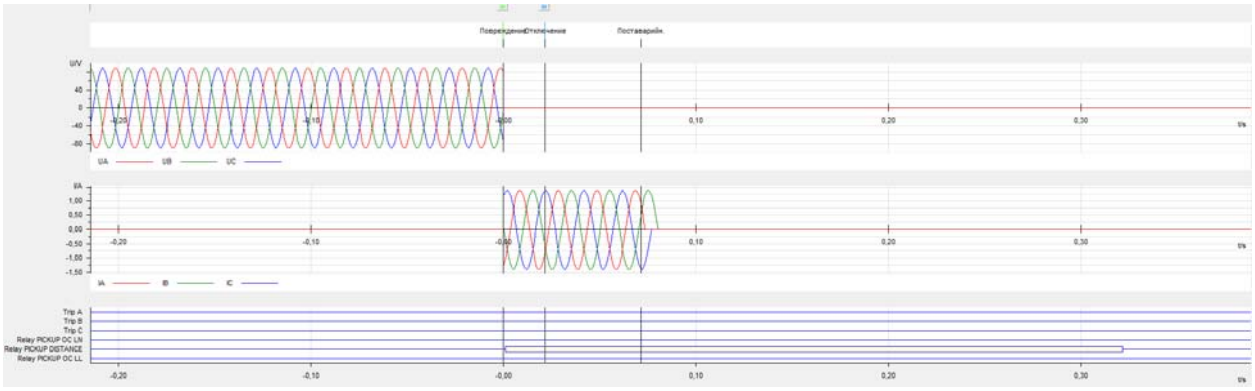


Рис. 14. Осцилограма пошкодження і фактичний час спрацювання захисту

Тестування дистанційного захисту полягав в перевірці правильності роботи алгоритму і визначення часу його спрацьовування.

Час спрацювання перевірявся шляхом моделювання несправності, яка перевищує величину спрацьовування (рис. 12). Це призводить до команди відключення перевіреної функції захисту.

Вимірювався і оцінювався час між імітацією несправності і прийомом сигналу відключення. На рис. 13 представлені етапи випробувань по точкам.

Після проведення низки пробних випробувань в різних зонах з метою перевірки поведінки реле були отримані результати, що показують час спрацьовування 24 мс (рис. 14).

**Висновок.** У статті представлено алгоритм двофазного 4PDIS з круговою і полігональною характеристикою, який складається з 4 ступенів. Результатом роботи блоку 4PDIS є дискретні сигнали на управління вимикачем лінії. Результати тестування показали час спрацьовування 4PDIS становить 24 мс.

Застосування функції логічної селективності дозволяє зменшити час вимкнення пошкоджень, що підвищує ефективність максимального струмового захисту, який знаходиться ближче до джерела живлення. Логічну селективність можна застосовувати як при радіальних, так і при замкнутих схемах електропостачання. Зменшення витримки часу вимкнення КЗ підвищує ресурс працездатності обладнання і, при певних обставинах, дає можливість зменшити переріз проводів.

**Література**


1. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.
2. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. - М.: Энергоатомиздат, 2007, 549 с.
3. Приладний модуль релейного захисту і автоматики захисту та автоматика 6-35 кВ (L635) Керівництво по експлуатації ААВГ.421453.005 - 300.02 РЕ
4. Куликов А.Л., Мисриханов М.Ш. Введение в методы цифровой релейной защиты высоковольтных ЛЭП: Учеб. пособие. М.: Энергоатомиздат, 2007. – 198 с.
5. Line distance protection REL670. Application manual Режим доступу www URL: https://library.e.abb.com/public/e7654aee0978461cc12578570041e91b/1MRK506278-UEN_C_en_Application_manual__Line_Distance_Protection_IED_REL_670_1.1.pdf (13.09.2018 р.).
6. SIPROTEC 4 Системное описание. Режим доступу www URL: https://w5.siemens.com/web/ua/ru/em/Automation,_control_and_protection/Relay_Protection/Distance_protection/Documents/file_135_1.pdf (13.09.2018 р.).
7. Презентація мікропроцесорні пристрої релейного захисту і автоматики виробництва СНВО «Імпульс». Режим доступу www URL: http://imp.lg.ua (13.09.2018 р.).
8. Головацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. Киев: Энергомашвин, 2004. – 640 с.
9. Микропроцесорні пристрої релейного захисту та и автоматики ImPR1. Бібліотека функціональних блоків системного програмного забезпечення СНВО «Імпульс».
10. Test Universe. Режим доступу www URL: https://www.omicronenergy.com/ru/products/test-universe/ (13.09.2018 р.).
11. OMICRON PTL User manual V2.01. Режим доступу www URL: https://ru.scribd.com/doc/230387116/Omicron-Ptl-User-Manual-Enu# (13.09.2018 р.).


**References**


1. Fedoseev A.M. Relay protection of power systems. – M.: Energoatomizdat, 1992. – 528 p.
2. Schneerson E.M. Digital relay protection. - M .: Energoatomizdat, 2007, 549 p.
3. Device module for relay protection and automatic protection and automatic 6-35 kV (L635) Operating manual AABГ.421453.005 - 300.02 PE
4. Kulikov A.L., Misrikhanov M.Sh. Introduction to digital relay protection methods for high-voltage power lines: Proc. allowance. M .: Energoatomizdat, 2007. – 198 p.
5. Line distance protection REL670. Application manual Available at: https://library.e.abb.com/public/e7654aee0978461cc12578570041e91b/1MRK506278-UEN_C_en_Application_manual__Line_Distance_Protection_IED_REL_670_1.1.pdf (13.09.2018).
6. SIPROTEC 4 System Description.Available at: https://w5.siemens.com/web/ua/ru/em/Automation,_contro

l_and_protection/Relay_Protection/Distance_protection/Documents/file_135_1.pdf (13.09.2018).
7. Presentation of microprocessor devices for relay protection and automation of the production of the PJSC SRPA "Impulse". Available at: http://imp.lg.ua (13.09.2018)
8. Golovatsky V.G., Ponomarev I.V. Modern means of relay protection and automation of electrical networks. Kiev: Energomashvin, 2004. – 640 p.
9. Microprocessor relay protection devices and automation ImPR1. Library of the functional blocks of the system software of the PJSC SRPA "Impulse".
10. Test Universe. Available at: https://www.omicronenergy.com/ru/products/test-universe/ (13.09.2018).
11. OMICRON PTL User manual V2.01. Available at: https://ru.scribd.com/doc/230387116/Omicron-Ptl-User-Manual-Enu# (13.09.2018).

**Коцюба И.В., Гусаченко А.Н., Чернобровкина В.О., Старцева Ю.С. Разработка алгоритма двухфазной дистанционной защиты электрических сетей**

*В статье представлен анализ подходов к дистанционной защите электрических сетей. Предложен алгоритм четырех-ступенчатой двухфазной дистанционной защиты (ДЗ) линии с селективным отключением поврежденных частей электрической сети, использующей круговую и полигональную характеристики. Предоставлена методика тестирования качества работы алгоритма. Представлены результаты сравнения предложенного подхода с существующими. Минимальное время срабатывания ДЗ по предложенной методике составляет 24 мс.*

***Ключевые слова:*** *электрическая сеть, дистанционный защиту, алгоритм, короткое замыкание, полигональная характеристика, круговая характеристика.*

**Kotsiuba I.V., Gusachenko O.M, Chernobrovkina V.O, Startseva J.S. Algorithm for two-phase distance line protection of power system**

*The paper presents an analysis of approaches to remote protection of electrical networks. The algorithm of the fast four-step two-phase distance protection (DP) line with selective disconnection of damaged parts of the electrical network using circular and polygonal characteristics is proposed. The method of testing the quality of the algorithm is provided. The results of the comparison of the proposed approach with the existing ones are presented. The minimum response time DP on the proposed method is 24 ms.*

***Keywords:*** *electrical network, distance protection, algorithm, short circuit, polygonal characteristic, circular characteristic.*

**Коцюба Ігор Васильович,** Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН Украни, email: i.kotsiuba@gmail.com
**Гусаченко Олександр Миколайович,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: llexisll@gmail.com
**Чернобровкіна Вероніка Олегівна,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: pineapplegreyhound@gmail.com
**Старцева Юлія Сергіївна,** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, email: gaksital911@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 29.11.2018

УДК 621.382+004.73

# АВТОНОМНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПРИКОРДОННИХ ЗОН І ТЕРИТОРІЙ

**Великжанін А.Ю., Скарга-Бандурова І.С.**

# AUTONOMOUS MONITORING SYSTEM FOR BORDER ZONES AND TERRITORIES

**Velykzhanin A.Yu., Skarga-Bandurova I.S.**

*Контроль і захист прикордонних зон і територій – складна задача, що потребує впровадження передових технологічних рішень, які мають поєднувати відповідність вимогам високої якості та низької вартості. В статті запропоноване нове рішення для контролю державних кордонів, яке являє собою сітчасту мережу, основна частина якої не потребує додаткових сенсорів та традиційних джерел живлення. Розглянуто основні принципи будови таких систем та вузлів.*

***Ключові слова:*** *система контролю, прикордонна зона, сітчаста мережа, сенсор, енергоживлення*

Задача контролю кордонів і прикордонних територій є проблемою митної та імміграційної служб. Однак через зростання незаконної контрабанди наркотиків, зброї, людей, а також ризиків тероризму, країни дедалі більше потребують ефективних засобів моніторигу. Захист міжнародного кордону – складна задача, яка потребує впровадження передових технологічних рішень, що мають бути ефективними з точки зору виконання основних функцій, чутливості, та надійності.

Питанням прикордонного нагляду за допомогою бездротових сенсорних мереж присвячено багато робіт [1-4]. Так в роботі [1] розглядається питання планування та енергоспоживання. В [2] пропонується підхід до контролю за допомогою алгоритму розподіленого прикордонного спостереження. Автори [3] пропонують розподіляти вузли за допомогою вимірювання рівня сигналу RSSI, що може скоротити енергоспоживання та підвищити надійність. Але завдання розробки системи контролю ще далеке від вирішення і, у першу чергу, потребує подальшого удосконалення в плані реалізації ефективного енергозбирання вузлами системи та мінімізації споживання енергії.

У цій роботі ми презентуємо сенсорну систему здібну до детектування людини, тварини, техніки, яка може бути встановлена навколо віддаленого об’єкту або уздовж усього кордону країни. Система являє собою сітчасту мережу різноманітних вузлів-сенсорів, але від інших відомих систем [1-4] відрізняється тим, що не має допоміжних датчиків для детектування. У свою чергу, відсутність датчиків позитивно впливає на витрати ресурсу батареї живлення. На цей час саме ресурс батареї є основною технічною проблемою для широкого впровадження сенсорних систем та концепції інтернету речей. Цю проблему можливо розділити на дві взаємопов’язані частини: пошук відповідного джерела енергії батареї, та низька споживана потужність приладу [5]. Задача зайвої витрати енергії на віддалених контролюючих сенсорних системах може бути вирішена у декілька способів:

1) як вже було зазначено вище, треба позбутися «зайвих» компонентів системи – датчиків, тобто використовувати те, що вже маємо;

2) на вузлах мережі потрібно використовувати методи енергозбирання;

3) при проектуванні вузлів слід враховувати можливість використовувати мікроконтролери з низьким енерго-споживанням.

Більшість виробників має таку серію мікроконтролерів. Наприклад, у французько-італійського виробника STMicroelectronics є серія з індексом “L” (Low Energy), або мікроконтроллери виробників Nordic Semiconductors (серії “nRF52”), також є серія “Zero Gecko” від виробника SiLabs. Окрім того, варто враховувати наявність таких режимів мікроконтролера у яких він споживає найменшу кількість енергії. 4) бажано щоб дизайн електронної схеми мікроконтролера являв собою систему на чипі. Важливою складовою є наявність бездротового інтерфейсу передачі даних у чипі, при цьому він також має бути енергоефективним. Це можуть бути технології Bluetooth LE, ANT+, ZigBee, NFC, IQRF, та інші. Для забезпечення надійності системи, вузли мережі потрібно дублювати, а також для живлення компонентів вузлів потрібно використовувати іоністори, літій-іонні ультра-конденсатори, електрохімічні супер-конденсатори,

оскільки вони витримають у десять разів більше циклів перезарядки аніж літій-іонні батареї, також, завдяки їм можливо збільшити робочий температурний діапазон пристрою.

Спираючись на приведені вище вимоги, а, також, на методи представлені у [6-7], були спроектовані вузли (рис. 1, 2) з яких формується сітчаста сенсорна мережа (рис. 3).

Два бездротових вузли системи формують стійку лінію зв'язку. Об'єкт, перетинаючи цю лінію, занижує потужність сигналу (RSSI), тим самим викликаючи можливість детектування незаконного перетину кордону. Система сигналізує про порушення на пульт оператора, оператором приймаються необхідні заходи.

Вузол-детектор (рис. 1) має складатися з декількох компонентів, а саме:

1) металевий корпус: має бути виготовлений з металу з великою теплопровідністю;

2) електрона частина системи: складається з мікроконтролера-передавача, енргозбираючої частини та батареї;

3) програмна частина вузла: має детектувати та визначати тип порушника.

Корпус складається з двох частин та має довжину в декілька метрів (рис.1). та збирається у місці, позначеному синім кольором. Також, у цьому місці розташовується елемент Пельтьє.

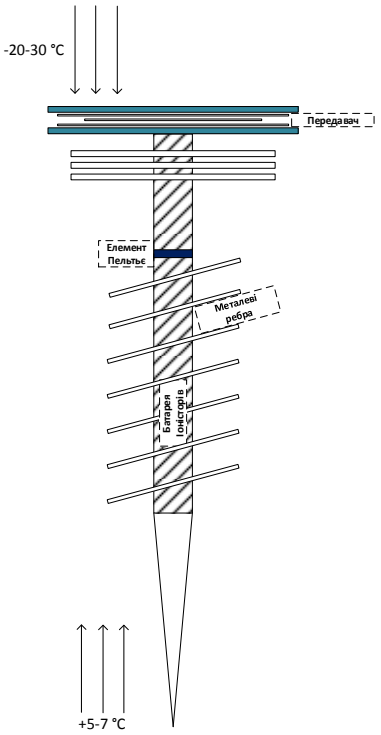



Рис.1. Вузол-детектор

Різниця між поверхнею та глибиною і є джерелом енергії приладу. Це так званий ефект Зеєбека, який полягає в тому, що у замкнутому ланцюзі, який складається з різнорідних провідників, виникає термоелектрорушійна сила (Т.е.р.с.), якщо на місцях контактів підтримувати різну температуру. Металеві ребра забезпечують більшу площу збирання тепла. А елемент Пельтьє його конвертацію в електричний струм. Батарея іоністорів слугує накопичувачем енергії та розташовується у нижній частині пристрою, задля підтримки постійної температури. Проміжною ланкою між цими двома вузлами є мікросхеми компанії Linear Technology. Але цієї енергії може бути недостатньо для живлення. Тому, також можливо використовувати методи збору радіочастотної електромагнітної енергії. Такі експерименти вже були проведені, зокрема, можливо виділити роботи [8-10]. У цих роботах вчені пропонують прилади для збирання електромагнітної радіочастотної енергії з навколишнього середовища. Наприклад, у роботі [10] пропонується ректенна для приладів збору енергії у частотному діапазоні GSM. Такого роду прилади можуть бути скомбіновані у системи, для накопичування енергії, усе залежить від обраного мікроконтролера. Пристрій будується на базі систем на чипі nRF52840. Цей чип має вбудований передавач, що працює на частоті 2.4 ГГц, який підтримує технологію Bluetooth 5.0 LE. Для більшої надійності пристрою його потрібно дублювати, та розташовувати чипи парами.

Декілька пристроїв розміщуються на ділянці землі та формують мережу. Але у цій мережі з'являються прогалини у вигляді сліпих зон (рис.3). Цю проблему можливо вирішити скомбінувавши два способи: використовувати алгоритми розміщення вузлів [3] та додати до системи датчики іншого типу, а саме датчики в яких відсутні елементи живлення та електронні компоненти (рис. 2а). Принцип роботи на якому він оснований був покладений ще радянськими вченими у приладі під назвою ендовібратор [11]. Пропонований пристрій працює за подібною схемою (рис. 2б).

Пристрій знаходиться під постійним випромінюванням передавачів і являє з себе короб з натискним механізмом. Короб закопаний у землю. Ступаючи (натискуючи) на механізм, пристрій приводиться у дію. Опускаючись, натискна частина передає роботу на антену. Антена представляє із себе диполь, нормально розімкнутий. Обертаючись, зубці замикають контакт між двома частинами антени, тим самим змінюючи її імпеданс. Ці зміни можуть бути зареєстровані приймачем.

Приймач та передавач знаходяться на основних вузлах системи, як це представлено на рис. 1. На кодованій передачі можуть бути відсутні зубці, тим самим, при обертанні контакти не будуть замкнуті. Завдяки цьому можливо кодувати послідовності у двійковій системі, тим самим з'являється можливість присвоїти кожному допоміжному вузлу системи свій унікальний ідентифікатор.

Рис. 2а. Датчик без джерела енергії

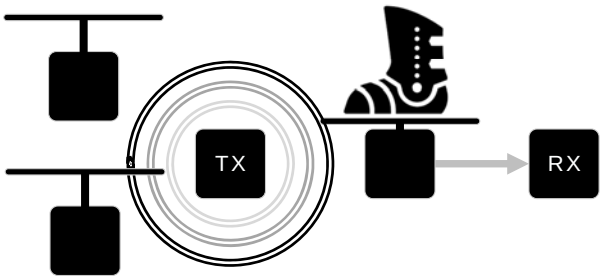



Рис. 2б. Принцип роботи датчику

Принцип роботи мережі зображений на рис. 3.

Основні датчики формують сітчасту мережу, до якої в будь якій точці може під'єднатися оператор. Мережа є неконтрольованою, оператор тільки отримує сповіщення, при перетині кордону, або відмові вузлів. Відмова вузлів також може бути своєрідним сигналом перетину, а саме "свідоцтвом канарки". Усі вузли системи мають бути розташовані по заздалегідь відомим GPS координатам.

Подальша робота полягає в розробці, та тестуванні мережі. Тестування системи включає в себе розробку мінімум трьох вузлів. Два основних і один додатковий. Для кожного основного вузла будуть перевірені параметри енергоспоживання і ефективності збору енергії. Для кожних двох вузлів, необхідно перевірити алгоритми детектування і розпізнавання об'єкта. Розробка додаткового вузла включає в себе перевірку рівня потужності сигналу при якому пристрій почне стабільно працювати.

**Висновки.** У статті представлений новітній метод до контролю приграничного кордону. При цьому очікується що система розрахована на багаторічну роботу і не буде вимагати щоденного обслуговування. Передбачається, що всі вузли системи є автономними та самі формують мережу. Після тестування технічних характеристик системи, додатково, планується виконати економічні розрахунки.

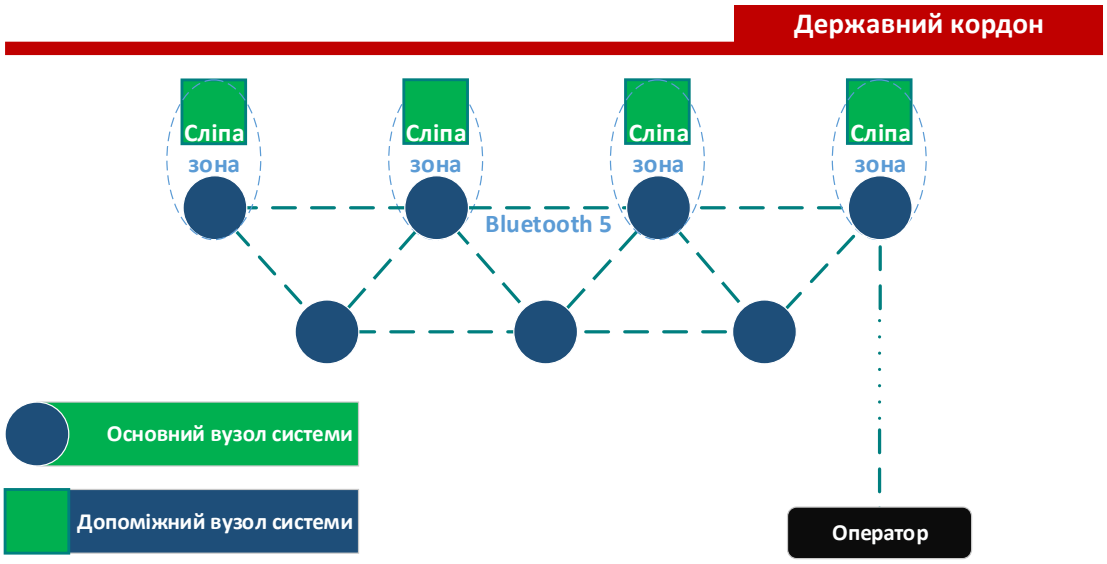



Рис. 3. Прикордонна сенсорна мережа

**Література**

1. Hare, J., Gupta, S., & Wilson, J. (2015). Decentralized smart sensor scheduling for multiple target tracking for border surveillance. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
2. Mostafaei, H. et al. "Border Surveillance With WSN Systems In A Distributed Manner". IEEE Systems Journal, vol 12, no. 4, 2018, pp. 3703-3712. Institute Of Electrical And Electronics Engineers (IEEE).
3. Alkhathami, M., and Lubna A. "Border Surveillance Using Advanced Wireless Sensor Network". IIJEC, vol 3, no. 3, 2015, pp. 17-22., doi:10.13140/RG.2.1.2768.8484. Accessed 27 Dec 2018.
4. Elkateeb, A. "Using Solar Units For Wireless Sensor Network Nodes Deployed At Remote Areas: Border Monitoring Application Example". IJARCCE, vol 6, no. 4, 2017, pp. 1-5. Tejass Publisheers.
5. Alkhathami, M.H. "Overview Of Border Control Using Wireless Sensor Network". International Journal Of Scientific And Engineering Research, vol 6, no. 3, 2015, pp. 768-772. IJSER Publishing.
6. Banerjee, Arijit et al. "Through Wall People Localization Exploiting Radio Windows." arXiv.org. N. p., 2013. Web. 27 Dec. 2018.
7. Iyer, V., Chan J., and Gollakota S. "3D Printing Wireless Connected Objects." ACM Transactions on Graphics 36.6 (2017): 1-13. Web. 27 Dec. 2018.
8. Adami, S.-E. et al. "Ultra-Low Power, Low Voltage, Self-Powered Resonant DC–DC Converter For Energy Harvesting". Journal Of Low Power Electronics, vol 9, no. 1, 2013, pp. 103-117.
9. Gudan, K., Chemishkian, S., Hull, J. J., Thomas, S. J., Ensworth, J., & Reynolds, M. S. (2014). A 2.4GHz ambient RF energy harvesting system with −20dBm minimum input power and NiMH battery storage. 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA).
10. Ho, Dinh Khanh et al. "A Novel Dual-Band Rectenna For Ambient RF Energy Harvesting At GSM 900 Mhz And 1800 Mhz". Advances In Science, Technology And Engineering Systems Journal, vol 2, no. 3, 2017, pp. 612-616. ASTES Journal.
11. "Thing (Підслуховуючий Пристрій)." Uk.wikipedia.org. N. p., 2019. Web. 3 Jan. 2019.

**References**

1. Hare, J., Gupta, S., & Wilson, J. (2015). Decentralized smart sensor scheduling for multiple target tracking for border surveillance. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). doi:10.1109/icra.2015.7139649
2. Mostafaei, Habib et al. "Border Surveillance With WSN Systems In A Distributed Manner". IEEE Systems Journal, vol 12, no. 4, 2018, pp. 3703-3712. Institute Of Electrical And Electronics Engineers (IEEE), doi:10.1109/jsyst.2018.2794583.
3. Alkhathami, Mosad, and Lubna Alazzawi. "Border Surveillance Using Advanced Wireless Sensor Network". IIJEC, vol 3, no. 3, 2015, pp. 17-22., doi:10.13140/RG.2.1.2768.8484. Accessed 27 Dec 2018.
4. Elkateeb, Ali. "Using Solar Units For Wireless Sensor Network Nodes Deployed At Remote Areas: Border Monitoring Application Example". IJARCCE, vol 6, no. 4, 2017, pp. 1-5. Tejass Publisheers, doi:10.17148/ijarcce.2017.6401.
5. Alkhathami, Mosad H. "Overview Of Border Control Using Wireless Sensor Network". International Journal Of Scientific And Engineering Research, vol 6, no. 3, 2015, pp. 768-772. IJSER Publishing, doi:10.14299/ijser.2015.03.009.
6. Banerjee, Arijit et al. "Through Wall People Localization Exploiting Radio Windows." arXiv.org. N. p., 2013. Web. 27 Dec. 2018.
7. Iyer, V., Chan J., and Gollakota S. "3D Printing Wireless Connected Objects." ACM Transactions on Graphics 36.6 (2017): 1-13. Web. 27 Dec. 2018.
8. Adami, S.-E. et al. "Ultra-Low Power, Low Voltage, Self-Powered Resonant DC–DC Converter For Energy Harvesting". Journal Of Low Power Electronics, vol 9, no. 1, 2013, pp. 103-117. American Scientific Publishers, doi:10.1166/jolpe.2013.1245.
9. Gudan, K., Chemishkian, S., Hull, J. J., Thomas, S. J., Ensworth, J., & Reynolds, M. S. (2014). A 2.4GHz ambient RF energy harvesting system with −20dBm minimum input power and NiMH battery storage. 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA). doi:10.1109/rfid-ta.2014.6934191
10. Ho, Dinh Khanh et al. "A Novel Dual-Band Rectenna For Ambient RF Energy Harvesting At GSM 900 Mhz And 1800 Mhz". Advances In Science, Technology And Engineering Systems Journal, vol 2, no. 3, 2017, pp. 612-616. ASTES Journal, doi:10.25046/aj020378.
11. "Thing" Uk.wikipedia.org. N. p., 2019. Web. 3 Jan. 2019.

**Великжанин А.Ю., Скарга-Бандурова И.С., Автономная система мониторинга приграничных зон и территорий**

*Контроль и защита приграничных зон и территорий - сложная задача, требующая внедрения передовых технологических решений, которые должны сочетать соответствие требованиям высокого качества и низкой стоимости. В статье предложено новое решение для контроля государственных границ, которое представляет собой сетчатую сеть, основная часть которой не требует дополнительных сенсоров и традиционных источников питания. Рассмотрены основные принципы построения таких систем и узлов.*

***Ключевые слова:*** *система контроля, пограничная зона, сетчатая сеть, сенсор, энергопитание*

**Velykzhanin A.Yu., Skarga-Bandurova I.S. Autonomous monitoring system for border zones and territories**

*Control and protection of border areas and territories is a complex task requiring the introduction of advanced technological solutions that must combine compliance with high quality and low cost requirements. The article proposes a new solution for controlling state borders, which is a mesh network, most of which does not require additional sensors and traditional power sources. The basic principles of building such systems and nodes are considered.*

***Keywords:*** *control system, border zone, mesh network, sensor, power*

**Великжанін Артем Юрійович,** аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: revyter32@gmail.com

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 05.11.2018

УДК 004.891.2

# РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ВЕБ-АНАЛІТИКИ

**Канакін А.Е., Скарга-Бандурова І.С., Щербакова М.Є.**

# ELEMENTS OF RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON WEB-ANALYTICS

**Kanakin A.E., Skarga-Bandurova I.S., Scherbakova M.E.**

*Стаття присвячена аналізу методів й інструментів розробки рекомендаційної системи, здатної виконувати збір, аналіз, представлення й інтерпретацію інформації про відвідувачів веб-сайтів з метою поліпшення їх обслуговування. Розглянуті сервіси веб-аналітики Google Analytics, їх переваги і недоліки. Запропоновано варіант власної системи, що побудована з використанням колаборативної фільтрації та для пошуку подібних вподобань користувачів використовує косинусну схожість.*

***Ключові слова:*** *веб-аналітика, рекомендаційна система, колаборативна фільтрація, онлайн-магазин.*

**Вступ.** Сучасний бізнес неможливо уявити без інтернету. З активним розвитком веб-ресурсів виникли питання, пов'язані з їх функціональними можливостями для проведення моніторингу відвідуваності сайтів, оцінкою економічної ефективності рекламних інтернет-кампаній та оптимізацією структури і вмісту сайту.

Рішенням вищевказаних проблем займається веб-аналітика. Сучасна веб-аналітика дозволяє збирати і аналізувати інформацію про відвідувачів інтернет ресурсів. Встановлюючи лічильники аналітичних систем на свої сайти, рекламодавці отримують можливість відстежувати клієнтів на всіх етапах, від кліка по рекламному оголошенню до оплати замовлення в інтернет-магазині. Основним завданням веб-аналітики є моніторинг відвідуваності веб-сайтів, на підставі якого визначається аудиторія сайту і вивчається поведінка відвідувачів для прийняття рішень щодо розвитку і розширення функціональних можливостей веб-ресурсу. Загалом, веб-аналітика дозволяє не тільки працювати над поліпшенням сайтів, але й проводити роботи по оптимізації бюджету на онлайн-просування.

Одним з найбільш поширених засобів відстеження поведінки відвідувачів веб-сайтів є сервіси Google analytics. Це система вимірювання, збору, аналізу, представлення й інтерпретації інформації про відвідувачів веб-сайтів з метою їх поліпшення і оптимізації. Іншим популярним засобом, що активно використовує веб-аналітику, є рекомендаційні системи, які не тільки відслідковують поведінку користувачів інтернет-сервісів, але й надають користувачам оцінки щодо переваг того чи іншого об'єкта. Об'єктами рекомендацій можуть служити товари в інтернет-магазині, набір розділів веб-сайту, медіа-контент, інші користувачі веб-сервісу. На основі сформованих рекомендаційною системою переваг, поведінка веб-сервісу для кожного конкретного користувача може змінюватися, надаючи персоніфікований контент. На даний момент, рекомендаційні системи знаходяться в стадії активного розвитку і вимагають розробки технологій, здатних надавати найкращі, в певному сенсі, поради, адаптовані під конкретного користувача. Така задача вимагає вирішення багатьох питань, одним з яких є пошук найкращих моделей, що описують схожість.

**Метою статті** є аналіз методів й інструментів для розробки рекомендаційної системи, та представлення варіанту власної системи, що побудована з використанням колаборативної фільтрації.

**Основна частина.** Найбільш розповсюдженою системою веб-аналітики є Google Analytics (GA), що являє собою безкоштовний інтернет-сервіс для створення детальної статистики відвідувачів веб-сайтів. Статистика відвідувачів виконується за рахунок JS-код на сторінках свого сайту. За умови дозволеного виконання Javascript, код відстеження (JS-код) спрацьовує при кожному відкритті сторінки користувачем. GA - це не просто лічильник відвідувань, це повноцінний інструмент аналізу ефективності роботи сайту компанії та її проведених маркетингових заходів. Google Analytics дозволяє не тільки відслідковувати джерела відвідувачів сайту, але й аналізувати їх ефективність. У GA створена система вибору готових статистичних звітів, які

базуються на наступних функціональних можливостях [1]:

- відстеження цілей;
- інтеграція Google Analytics з Google AdWords і Google AdSense;
- відстеження продажів інтернет-магазинів;
- відстеження мобільних пристроїв;
- відстеження внутрішнього пошуку по сайту;
- порівняння показників;
- відстеження використання Flash, Ajax і відео;
- розширена сегментація в Google Analytics;
- призначені для користувача звіти;
- експорт даних у формати Excel, CSV, PDF;
- відправка звітів по електронній пошті;
- API для розробників.

Комбінування різних функціональних можливостей дозволяє формувати звіти, що найбільш повно відповідають запитам. Вивчення поведінки користувачів на сайті, оцінка юзабіліті й аналіз відвідуваності сайту будується на звітах, сформованих за певними критеріями. Сервіс інтегрований з Google AdWords. Особливістю сервісу є те, що веб-майстер може оптимізувати рекламні та маркетингові кампанії Google AdWords за допомогою аналізу даних, отриманих за допомогою сервісу Google Analytics, зібрати інформацію про шляхи приходу відвідувачів, час перебування на сайті, географічне місце розташування відвідувачів. Використовуючи цей інструмент, маркетологи можуть визначати, яка з рекламних кампаній є успішною, і знаходити нові джерела та цільові аудиторії [2].

Одним з ключових аналітичних інструментів Google Analytics є візуалізація даних [1]. Звіт по візуалізації являє собою графічне представлення показників обраних користувачем і дозволяє порівнювати обсяги трафіку з різних джерел, вивчати структуру трафіку і вимірювати ефективність сайту.

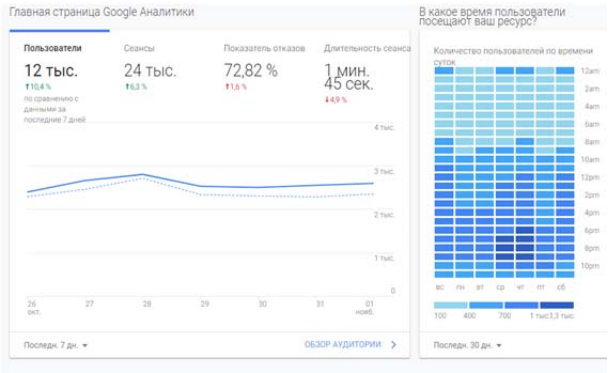



Рис. 1. Візуалізація даних в Google Analytics

Візуалізація переходів дає можливість покращувати конверсію і визначати, що з контенту подобається відвідувачам, а що ні [3]. Окрім зазначеного, Google Analytics дозволяє аналізувати поведінку і характеристику споживачів на сайті з деталізацією кожного візиту, пошукового запиту і джерела трафіку [4]. Система фільтрів зведень і звітів дозволяє сегментувати відвідувачів за різними показниками та їх сполученням.

До основних недоліків Google Anlatics можна віднести:

– обмеження по глибині доступу до даних (немає можливості стежити за кожним конкретним візитом або кожним конкретним кліком);

– інформація, що збирається Google Analytics, належить не користувачу;

– неможливість вилучити з бази даних власні статистичні дані, наприклад, якщо потрібно використовувати іншу аналітичну систему;

– аналізуючи отриману інформацію, важко сформувати, яка конструкція менш відштовхує відвідувачів сайту, і змушує поглибити вивчення контенту, що повинно бути написано на баннері, щоб на нього частіше натискали, де повинна бути контактна форма, щоб вона частіше заповнювалася, який дисконт потрібно надати, для більшої конверсії, і багато іншого. Для проведення спліт-тестування необхідно використовувати ще один інструмент від Google - Оптимізатор веб-сайтів Google.

Отже, для вирішення задачі аналізу поведінки й характеристик споживачів на сайті, має сенс використовувати спеціалізовані сервіси – рекомендаційні системи.

Можна виділити три основні підходи до побудови рекомендаційних систем: на підставі аналізу змісту (content-based); колаборативна фільтрація (collaborative filtering); гібридний підхід.

***Підхід на підставі аналізу змісту*** передбачає, що про користувачів і про рекомендовані об'єкти є досить багато інформації. Наприклад, всі користувачі заповнюють анкету, в якій вказують свою соціально-демографічну інформацію, інтереси, і т.д. Про товари з інтернет-магазину можуть бути відомі їх опис, призначення, цінова категорія, бренд, та інші характеристики. Маючи історію взаємодії користувачів і об'єктів на сервісі можна побудувати навчальну вибірку і провести прогнозування за добре відомими прикладами.

На практиці, використання такого підходу сильно обмежене, оскільки збір описової інформації про користувачів і об'єкти є дуже дорогою процедурою, яку часто неможливо організувати, не знижуючи якість використання сервісу, що робить рекомендаційну систему, побудовану за цим підходом, невиправдано дорогою.

***Колаборативна фільтрація.*** Колаборативна фільтрація зазвичай використовується за умов, коли рекомендаційна система не володіє будь-якою інформацією про користувачів і об'єкти (або не використовує) і будує прогноз виключно на підставі взаємодії користувачів з об'єктами.

Нехай $U$ - множина користувачів (users), $I$ - множина об'єктів (items), інформація про відомі переваги, представлена у вигляді набору трійок:

$$D = \{(u,i,r_{ui})\}, (u,i) \in R,$$

де $r_{ui} \in R$ - речова ступінь переваги об'єкта $i \in I$ користувачем $u \in U$; $R \subseteq U \times I$ - множина пар (користувач, об'єкт), про які відома ступінь переваги.

Для подальшої зручності, введемо також позначення: $R(u) = \{i : (u,i) \in R\}$ - множина об'єктів, суміжних з користувачем *u,* аналогічно: $R(i) = \{u : (u,i) \in R\}$.

За відомою інформацією $D$ потрібно побудувати прогноз переваги $r_{ui} \approx r_{ui}$ для нових пар $(u,i) \in R$.

Будемо називати матрицею оцінок - матрицю $R \in (R \cup \varnothing)\ |U| \times |I|$, рядки якої відповідають користувачам, стовпці - об'єктам, а елементи приймають значення $r_{ui}$, якщо $(u,i) \in R$, та $\varnothing$ в протилежному випадку.

Тоді, на завдання колаборативної фільтрації можна дивитися як на задачу заповнення пропущених значень в матриці.

Крім передбачення значень переваги, на практиці можуть бути цікаві такі завдання:

- побудова списку рекомендацій з об'єктів, на які не відома ступінь переваги (нові для користувача):

Recommend $K(u) = \text{Top}_K \max_i r_{ui} \rightarrow \{(i_1, r_{ui1}), (i_2, r_{ui2}), ..., (i_K, r_{uiK})\}$;

- визначення ступеню схожості об'єктів і побудова списків найбільш схожих:

Similar K $(i) \rightarrow \{(i_1, s_{ii1}), (i_2, s_{ii2}), ..., (i_K, s_{iiK})\}$,

де $s_{ij}$ - ступінь схожості між двома об'єктами;

- обґрунтування списку рекомендацій: деяке людино-зрозуміле пояснення, чому користувачеві *u* необхідно порекомендувати об'єкт *i.*

Підходи до вирішення завдання колаборативної фільтрації умовно можна розділити на дві великі групи:

1. Засновані на евристиках (memory / heuristic-based);
2. Засновані на побудові моделі переваги (model-based).

До першої групи методів (memory-based) відносяться алгоритми, що виражають припущення значення безпосередньо через елементи матриці оцінок. Прикладом memory-based алгоритму колаборативної фільтрації є зважування переваги по користувачах (user-based):

$$\hat{r}_{ui} = \overline{r}_u + \frac{1}{\sum_{u' \in R(i)} |sim(u,u')|} \sum sim(u,u')(r_{u',i} - \overline{r}_{u'}),$$

і по об'єктах (item-based):

$$\hat{r}_{ui} = \overline{r}_i + \frac{1}{\sum_{i' \in R(i)} |sim(i,i')|} \sum sim(i,i')(r_{u,i'} - \overline{r}_{i'}),$$

де $\overline{r}_u = \frac{1}{|R(u)|} \sum_{i \in R(u)} r_{ui}$, $\overline{r}_i = \frac{1}{|R(i)|} \sum_{u \in R(i)} r_{ui}$ – середні значення переваг по користувачах і об'єктам, sim *(u, u')*, sim *(i, i')* – відповідно, наперед задані метрики схожості користувачів і об'єктів.

Міра схожості sim$(u, u^0)$ (і аналогічна для об'єктів) обчислюється по матриці оцінок *R,* або з використанням додаткової інформації про користувачів (об'єкти). Найбільш вживаними є прості метрики схожості, такі як кореляція Пірсона:

$$sim(u,u') = \frac{\sum_{i \in R(u) \cap R(u')} (r_{u,i} - \overline{r}_u)(r_{u',i} - \overline{r}_{u'})}{\sqrt{\sum_{i \in R(u) \cap R(u')} (r_{u,i} - \overline{r}_u)^2 \sum_{i \in R(u) \cap R(u')} (r_{u',i} - \overline{r}_{u'})^2}}$$

і косинусна відстань відповідних рядків (стовпців) матриці оцінок:

$$sim(u,u') = \frac{\sum_{i \in R(u) \cap R(u')} r_{u,i} \cdot r_{u',i}}{\sqrt{\sum_{i \in R(u)} r_{u,i}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i \in R(u')} r_{u',i}^2}}.$$

Найбільш використовуваними і реалізованими у вигляді бібліотек з відкритим вихідним кодом є memory-based алгоритми. Ці алгоритми є корисними для одноразового обчислення рекомендацій на розподіленому кластері, вони добре працюють з MapReduce, проте погано підходять для оперативного оновлення рекомендацій. Налаштування схожості для завдання з конкретної предметної області все ще представляє собою складну задачу.

Одна з найбільш серйозних проблем memory-based методів - неадекватність передбачень в умовах сильної розрідженості матриці оцінок $R$ (в сенсі пропущених значень), що призводить до неможливості підрахунку метрик схожості в разі, якщо множина $R(u) \bigcap R(u^0) = \varnothing$. Сильна розрідженість матриці оцінок може бути наслідком проблеми холодного старту, проте в деяких областях вона є сильно розрідженою завжди і не може стати досить щільною (наприклад, в разі інтернет-магазинів, користувач залишає інформацію про переваги в середньому лише по 2-5 об'єктіам).

Алгоритми з другої групи (model-based) направлені на вибір функції $r(u, i; \theta)$ з деякого сімейства параметризованих моделей $\theta \in \Theta$.

| order_ | order_id | product_id | name | model | quantity | price | total | tax | reward |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 68 | 47 | 113 | Сет канна | Сет | 1 | 620.0000 | 620.0000 | 0.0000 | 4 |
| 67 | 46 | 151 | Сет кумамото | Сет | 1 | 530.0000 | 530.0000 | 0.0000 | 5 |
| 54 | 40 | 128 | Филадельфия | Маки-суши | 1 | 140.0000 | 140.0000 | 0.0000 | 3 |
| 55 | 40 | 151 | Сет кумамото | Сет | 1 | 530.0000 | 530.0000 | 0.0000 | 4 |
| 56 | 41 | 77 | Кадзура | маки- суши | 1 | 120.0000 | 120.0000 | 0.0000 | 3 |
| 57 | 42 | 108 | Салат хияши с кальмаром и тигровой креветкой | Салат | 1 | 90.0000 | 90.0000 | 0.0000 | 5 |
| 58 | 42 | 116 | Сет орхидея | Сет | 1 | 665.0000 | 665.0000 | 0.0000 | 4 |
| 59 | 43 | 62 | Банзай | горячие роллы | 1 | 150.0000 | 150.0000 | 0.0000 | 5 |
| 60 | 43 | 130 | Фудзияма | Маки-суши | 1 | 115.0000 | 115.0000 | 0.0000 | 4 |
| 61 | 44 | 118 | Сет ханами | Сет | 1 | 300.0000 | 300.0000 | 0.0000 | 3 |
| 62 | 45 | 147 | Ролл с красной икрой | маки- суши | 1 | 130.0000 | 130.0000 | 0.0000 | 5 |
| 63 | 45 | 81 | Канада | маки- суши | 1 | 170.0000 | 170.0000 | 0.0000 | 4 |
| 64 | 45 | 82 | Кани-унаги | маки- суши | 1 | 135.0000 | 135.0000 | 0.0000 | 5 |
| 65 | 45 | 108 | Салат хияши с кальмаром и тигровой креветкой | Салат | 1 | 90.0000 | 90.0000 | 0.0000 | 2 |
| 66 | 45 | 73 | Ика темпура | маки- суши | 1 | 130.0000 | 130.0000 | 0.0000 | 4 |
| 69 | 47 | 151 | Сет кумамото | Сет | 1 | 530.0000 | 530.0000 | 0.0000 | 5 |
| 70 | 48 | 115 | Сет купидон | Сет | 1 | 480.0000 | 480.0000 | 0.0000 | 4 |
| 71 | 49 | 70 | дзен | маки- суши | 1 | 165.0000 | 165.0000 | 0.0000 | 5 |
| 72 | 49 | 130 | Фудзияма | Маки-суши | 1 | 115.0000 | 115.0000 | 0.0000 | 5 |
| 73 | 49 | 81 | Канада | маки- суши | 1 | 170.0000 | 170.0000 | 0.0000 | 5 |
| 74 | 49 | 62 | Банзай | горячие роллы | 1 | 150.0000 | 150.0000 | 0.0000 | 5 |
| 75 | 50 | 116 | Сет орхидея | Сет | 1 | 565.0000 | 565.0000 | 0.0000 | 4 |
| 76 | 51 | 108 | Салат хияши с кальмаром и тигровой креветкой | Салат | 1 | 90.0000 | 90.0000 | 0.0000 | 5 |

Рис. 2. Дані про замовлення

Вибір може відбуватися, наприклад, шляхом мінімізації регуляризованого емпіричного ризику:

$$L(\theta) = \sum_{(u,i)\in R} l(\hat{r}(u,i;\theta), r_{ui}) + \lambda F(\theta) \to \min_{\theta\in\Theta},$$

де $l$ – функція втрат регресії, $\lambda$ – сила регуляризації, $F(\theta)$ – функція регуляризатора на множині параметрів $\Theta$.

За результатами аналізу алгоритмів колаборативної фільтрації було розроблено рекомендаційну систему по схожості користувачів, що визначається з використанням косинусної схожості по оцінкам продукції. Рекомендаційна система розробляється для веб-сайту з продажу та доставки їжі.

Для розробки алгоритму потрібні данні про замовленя. Ці дані беруться с бази даних SQL *«oc_order_product»* (рис. 2), де поле «order_id» - це ідентифікатор користувача, що зберігає такі дані як ім'я, телефон, адрес и т.д.; *«product_id»* - продукт з сайту, де поле *«name»* його назва і поле *«reward»* - оцінка, яку поставив користувач цьому продукту. Усі описані поля потрібні для розробки рекомендаційною системи для інтернет магазину.

Для рекомендації користувачеві №1 будь-якого продукту, вибирати потрібно з продуктів, які подобаються якимось користувачам № 2, 3, 4 і так далі, які найбільш схожі за своїми оцінками на користувача №1.

Потрібно отримати чисельне вираження схожості користувачів. Оцінки, виставлені окремо взятим користувачем, складають вектор в M-вимірному просторі продуктів.

Косинусна міра для двох векторів - це косинус кута між ними. Косинус кута між двома векторами - це їх скалярний добуток, поділений на довжину кожного з двох векторів:

$$\cos(\vec{x},\vec{y}) = \frac{\vec{x}\cdot\vec{y}}{\|\vec{x}\|_2 \times \|\vec{y}\|_2}.$$

Для розрахунку косинусної міри використаємо *«poruct_id»* та *«reward»*. З отриманої матриці переваг користувачів можна легко визначати, наскільки два користувача схожі один на одного за своїм вибором. Далі необхідно реалізувати алгоритм колаборативної фільтрації. Вибрати користувачів, смаки яких найбільше схожі на смаки розглянутого. Для цього для кожного з користувачів потрібно обчислити обрану міру (в нашому випадку косинусну) щодо розглянутого користувача, і вибрати найбільших. Для активного користувача отримуємо дані (рис.3).

| user_id: | 12 | 24 | 35 | 45 |
|---|---|---|---|---|
| текущий | 0,7897 | 0 | 0,0789 | 0,879 |
| all | | | | 1,7476 |

Рис. 3. Дані про схожість користувачів

Далі для кожного з користувачів необхідно помножити його оцінки на обчислену величину, так оцінки більш схожих користувачів будуть сильніше впливати на підсумкову позицію продукту. Також, для кожного з продуктів необхідно порахувати суму каліброваних оцінок найбільш близьких користувачів і отриману суму розділити на суму заходів обраних користувачів.

| | product_1 | product_2 | product_3 | product_4 | product_5 |
|---|---|---|---|---|---|
| user_12 | 2,127 | 1,892 | 0 | 0,789 | 1,545 |
| user_24 | 0 | 0 | 0 | 0,48 | 0,245 |
| user_35 | 0 | 0,0158 | 0,01 | 0 | 0 |
| user_45 | 0,2578 | 0,0078 | 0 | 0 | 0,0009 |
| all | 2,3848 | 1,9156 | 0,01 | 1,269 | 1,7909 |
| getresult | 3,4789 | 2,5478 | 0,5788 | 1,9878 | 2,4547 |

Рис. 4. Коефіцієнт популярності товару

Формально, цей крок може бути представлений як розрахунок

$$r_{u,i} = k \sum_{u' \in U} sim(u,u') r_{u',i} ,$$

де функція *sim* – обрана міра схожості двох користувачів, $U$ – множина користувачів, $r$ – виставлена оцінка, $k$ – нормувальний коефіцієнт: $k = 1 / \sum_{u' \in U} |sim(u,u')|$.

Результат сумації представлено на рис. 4 в рядку «all», підсумкове значення в рядку «getresult».

**Висновок.** За результатами проведеного аналізу з'ясовано, що широко поширений сервіс веб-аналітики Google Analytics має певні недоліки для розгортання повноцінної рекомендаційної системи. З огляду на це, у роботі запропоновано елементи власної системи, що побудована з використанням колаборативної фільтрації та для пошуку подібних вподобань користувачів використовує косинусну схожість. Рекомендаційна система буде використана на сайті з продажу та доставки їжі.

**Література**


1. Analytical tools Google Analytics [Electronic resource]. Access mode: http://www.google.by/intl/ru_ALL/analytics/features/analysis–tools.html.
2. Analytics online store for 5 khvilin: yak trimati sale pid control [Electronic resource]. Access mode: https://www.ecwid.ru/blog/customize-dashboard-google-analytics-and-yandex-metrika.html
3. Web analytics of corporate level Google Analytics [Electronic resource]. Access mode: http://www.google.com/intl/ru_ALL/analytics/index.html.
4. Visualization of user paths to the site [Electronic resource]. Access mode: https://support.google.com/analytics/answer/1709395?hl=en&topic=1709360&ctx=topic.
5. G. Adomavicius and O. Tuzhilin. At the top of a new generation of systems, I recommend it: an eye on the most important and the most elevated. Knowledge and Engagement, IEEE Transaction, 17, 2005.
6. H. Adomavichyus that O. Tuzhilin. Context-based system recommendations. At the post office of the system "Recommendations". Springer, 2011.
7. J. Bennett and S. Lanning. Netflix prize. At the Material KDD Cup and Maysterni, volume 2007.


**References**


1. Analytical tools Google Analytics [Electronic resource]. Access mode: http://www.google.by/intl/ru_ALL/analytics/features/analysis–tools.html.
2. Analytics online store for 5 khvilin: yak trimati sale pid control [Electronic resource]. Access mode: https://www.ecwid.ru/blog/customize-dashboard-google-analytics-and-yandex-metrika.html
3. Web analytics of corporate level Google Analytics [Electronic resource]. Access mode: http://www.google.com/intl/ru_ALL/analytics/index.html.
4. Visualization of user paths to the site [Electronic resource]. Access mode: https://support.google.com/analytics/answer/1709395?hl=en&topic=1709360&ctx=topic.
5. G. Adomavicius and O. Tuzhilin. At the top of a new generation of systems, I recommend it: an eye on the most important and the most elevated. Knowledge and Engagement, IEEE Transaction, 17, 2005.
6. H. Adomavichyus that O. Tuzhilin. Context-based system recommendations. At the post office of the system "Recommendations". Springer, 2011.
7. J. Bennett and S. Lanning. Netflix prize. At the Material KDD Cup and Maysterni, volume 2007.



**Канакин А.Е., Скарга-Бандурова И.С., Щербакова М.Е. Разработка элементов рекомендательной системы на базе веб-аналитики**

*Статья посвящена анализу методов и инструментов разработки рекомендательной Системи, способной выполнять сбор, анализ, представление и интерпретацию информации о посетителях веб-сайтов с целью улучшения их обслуживания. Рассмотрены сервисы веб-аналитики Google Analytics, их преимущества и недостатки. Предложен вариант собственной системы, построенной с использованием колаборативних фильтрации и для поиска подобных предпочтений пользователей использует косинусные сходство.*

***Ключевые слова:*** *веб-аналитика, рекомендательная система, колаборативних фильтрация, онлайн-магазин.*

**Kanakin A.E., Skarga-Bandurova I.S., Shcherbakova M.E. Development of elements of a recommender system based on web analytics**

*The article is devoted to the analysis of methods and tools for developing a recommendatory system capable of collecting, analyzing, presenting and interpreting information about website visitors in order to improve their service. Reviewed by Google Analytics web analytics services, their advantages and disadvantages. A variant of a proprietary system built using colorative filtering and using cosine similarities to search for similar user preferences is proposed.*

***Keywords:*** *web analytics, recommender system, colorative filtering, online store.*

**Канакін Артур Едуардович, магістрант** кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: agabolik@gmail.com

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

**Щербакова Марина Євгенівна,** к.т.н., доц. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: m.shcherbakova432@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Татарченко Г.О.***

Стаття подана 08.09.2018

УДК 504.064.36:574+004.67

# МЕТОДИ І МОДЕЛІ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСНОВАНИХ НА IOT

**Критська Я.О., Скарга-Бандурова І.С., Топчій А.О.**

# METHODS AND MODELS FOR DATA ACQUISITION AND PROCESSING IN WATER MONITORING SYSTEMS BASED ON IOT

**Krytska Ya.O., Skarga-Bandurova I.S., Topchii A.O.**

*У статті представлений огляд існуючих та перспективних методів он-лайн моніторингу забруднюючих речовин водних об'єктів, що ґрунтуються на використанні технології інтернету речей (IoT). Проаналізовані засоби збору даних. Для вирішення проблеми ефективного збору, збереження і передачі даних з великої кількості вузлів-джерел пропонується використання моделей компресійного вимірювання, що дозволяють використовувати апріорну інформацію за умов нестабільності даних в мережах.*

***Ключові слова*** *дані, водний об'єкт, інтернет речей, IoT, компресійне вимірювання, модель*

**Вступ.** Розвиток інформаційних технологій, зокрема технології інтернет речей (Internet of Things, IoT) відкрили новий етап у розвитку екологічного моніторингу. Моніторинг водних об'єктів охоплює спостереження і оцінку екологічного стану різних водних біологічних систем, які знаходяться на земній поверхні - річок, озер, перехідних або прибережних вод, штучних або істотно змінених водойм. Особливістю сучасного моніторингу є широке використання різноманітних приладів, сенсорів і комунікаційних інфраструктур, здатних передавати і обробляти дані в режимі реального часу. Разом з тим, для ефективного збору та обробки даних на кінцевих вузлах інформаційних систем, заснованих на IoT, необхідна система збору даних з низькими витратами енергії та можливістю одночасного обслуговування великої кількості IoT пристроїв. Невідповідність і неузгодженість в роботі різних підсистем моніторингу значно ускладнює реальну оцінку стану водних об'єктів і можливості реагування на їх зміни.

**Метою** роботи є пошук моделей і методів, що дозволять одночасно збирати й обробляти інформацію з різних пристроїв IoT.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення поставленої мети, в роботі розглядаються наступні питання: огляд методів он-лайн моніторингу забруднюючих речовин водних об'єктів; аналіз параметрів, що вимірюються для всіх типів водних об'єктів; аналіз засобів збору даних і можливостей співіснування різних систем IoT, задіяних в процесі контролю водних об'єктів; моделі для одночасної обробки великих обсягів гетерогенної інформації з масивних пристроїв IoT.

Дослідження якості вод проводиться в різноманітних ділянках:

- місця скидання стічних і вод зливових каналізацій населених місць, сільськогосподарських комплексів;
- місця скидання стічних вод окремих підприємств, електростанцій, великих промислових комплексів;
- місця скидання колекторно-дренажних вод, що відводяться з зрошуваних або осушуваних земель;
- кінцеві створи великих і середніх річок, що впадають в моря, внутрішні водойми;
- межі районів, територіальний одиниць, транскордонні водні об'єкти;
- в районах водокористування та прилеглих територій;
- місця нересту і концентрування цінних / рідкісних видів фауни водойм;
- місцях розробки і транспортування корисних копалин.

Основними параметрами, що вимірюються є алюміній, аміак й іони амонію, зважені речовини, гідрокарбонати, Біохімічне споживання кисню (БПК), смак і присмак, водневий показник (pH), залізо загальне, жорсткість загальна, запах (без нагрівання), кальцій, карбонати, метали важкі (мідь, свинець, цинк), нікель, пінявість, нафтопродукти, нітрати, нітрити, окислюваність біхроматна (ХПК), окислюваність перманганатна, поверхнево-активні речовини (ПАР), аніоноактівні речовини, прозорість, сухий залишок, сульфати, розчинений кисень, сірководень (сульфіди), феноли, фосфати

(поліфосфати, загальний Р), хлориди, фториди, хромати (сумарно), каламутність, кольоровість.
В табл. 1. надано перелік найчастіше вимірюваних параметрів води та пов'язані з ними технології вимірів [1, с. 3].

Таблиця 1

**Основні параметри води та пов'язані з ними технології вимірів**

| Параметр | Технологія вимірювання |
|---|---|
| Алюміній | Колориметрія; Атомно-абсорбційна спектрометрія |
| Сурма | Атомно-абсорбційна спектрометрія |
| Аміак й іони аммонія | Колориметрія (Ручні заміри; Реагент Несслера; Автоматизований; Реакція Berthelot); Іонні селективні електроди |
| Активний Хлор | Колориметрія; Мембранніелектроди; Полярографічні мембрани; 3-електродний вольтометричний метод |
| Провідність | Осередки провідності; кільцеві електроди; нікелеві електроди; електроди титану або благородного металу |
| Розчинений кисень | Мембранні електроди; 3-електродний вольтометричний метод; оптичні датчики |
| Іони (Cl-, NO3-, NH4 +) | Іоноселективні електроди |
| Потенціал окислення-зменшення (ORP) | Потенціометри; електроди платини або благородного металу |
| pH | Титрування гідроксидом натрію; протонні селективні склобалочні електроди, протон-селективні оксиди металу; Іонно-чутливі польові транзистори (ISFET) |
| Фосфати | Ручна або автоматизована колориметрія |
| Температура | Термістори |
| Загальний органічний вуглець (TOC) | УФ-персульфатне перетравлення з близьким інфрачервоним виявленням або мембранним кондуктометричним виявленням CO2 |
| Каламутність | Оптичні датчики; Метод нефелометричного світлорозсіювання |

Відносно фізико-хімічних характеристик, загальними параметрами, що вимірюються, для всіх типів водних об’єктів (річки, озера, переходні води, узбережні води, штучні та сильно змінені поверхневі води та ін.) є:

- прозорість;
- температурні умови;
- насиченість киснем;
- солоність;
- концентрація живильних речовин.

Що стосується специфічних забруднюючих речовин, то вони можуть обиратися в залежності від типів забруднювачів, що виявляють в окремих водних об’єктах, які підлягають контролю. При цьому, способи відбору проб також залежать від типу об’єкта. Так, наприклад, для річок відбір проб виконується з урахуванням наступних вимог:

1) попередньо визначається точки і глибини відбору;

2) відбір проводиться вниз за течією потоку, розташовуючи на потрібній глибині вище за течією в точці повного змішання вод (місцях максимально бурхливої течії, де потоки добре перемішуються);

3) при відборі необхідно враховувати добову циклічність, сезонність, режим періоду (паводок, межень);

4) для забезпечення достовірних результатів інструментального контролю необхідно:

- виконувати вимоги чистоти пробовідбірного посуду;
- дотримуватися всіх вказівок щодо роздільного відбору проб для усунення впливу компонентів які заважають один одному;
- дотримуватися всіх вказівок щодо консервації деяких компонентів води через протікання в пробі процесів окислення-відновлення, сорбції, седиментації, біохімічних процесів, викликаних життєдіяльністю мікроорганізмів.

Для відбору проб води з озер необхідно виконувати наступні рекомендації:

1) застосовувати плановий статистичний відбір, враховуючи історичну хронологію водойми;

2) враховувати слабопроточність і значну неоднорідність води в горизонтальному напрямку (по глибині) - через термальну стратифікацію, причиною якої можуть бути фотосинтез в поверхневій зоні, підігрів води, вплив донних відкладень і ін. у великих глибоких водоймах може з'являтися внутрішня циркуляція.

3) виконувати п. (4) вимог до відбору проб для річок.

Для підземних вод:

1) визначити глибину горизонту;

2) оцінити градієнти підземних потоків, склад підземних порід через який протікає горизонт для визначення концентрацій домішок, відмінних за складом від водоносного шару;

3) враховувати можливість наявності декількох водоносних горизонтів, особливо, якщо проби беруться на різних глибинах;.

4) прокачати свердловину протягом 10-15 хвилин перед відбором для поновлення води з накопиченим забруднювачем.

Для питних, водопровідних мереж:

1) при виборі місця відбору:

- не використовувати кінцеві ділянки мереж і ділянки з трубопроводами малого діаметра (менше 1,2 см);
- використовувати ділянки з турбулентним потоком (крани поблизу клапанів, вигинів);

2) спустити воду для оновлення протягом 10-15 хвилин;
3) відбір проводити з повільною течією потоку і повним переливом пробовідбірної ємності.

Традиційні засоби збору даних, що ґрунтуються на лабораторних методах аналізу представлено в табл. 2.

Таблиця 2

**Засоби реалізації збору даних**

| Тип вод | Засоби збору даних |
|---|---|
| Поверхневі води | - стаціонарні станції;<br>- пересувні пости;<br>- автоматизовані системи спостережень;<br>- системи дистанційного зонування (геоінформаційних систем, і т.д.);<br>- атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії. |
| Підземні джерела у т.ч. питні води | - мережа спостережних свердловин на ділянці водозабору та прилеглої території;<br>- атестовані стаціонарні інструментальні лабораторії. |
| Моря, океани | - стаціонарні станції;<br>- пересувні пости;<br>- системи дистанційного зонування. |
| Стічні води | - стаціонарні станції;<br>- пересувні пости;<br>- автоматизовані системи спостережень;<br>- атестовані інструментальні лабораторії. |

Для поверхневих вод спостереження проводяться з урахуванням гідрометричних умов і морфологічних об'єктів водних систем, даних наявності джерел забруднення, обсягу і параметрів складу стічних вод.

Для вод морів та океанів межі мережі моніторингу визначають залежно від фізико-географічних особливостей кожного моря/океану, з урахуванням розподілу забруднюючих речовин і гідрометеорологічного режиму.

Що стосується перспективних засобів он-лайн моніторингу, більшість з них ґрунтується на технології IoT і містять різноманітні пристрої, сенсори (волоконно-оптичні сенсори, lab-on-chip, біосенсори, ЕМ-сенсори, у тому числі мікрохвильові, та ін.), веб платформи, хмарні сервери, центри управління та обробки інформації.

Очевидно, що різноманітність параметрів, засобів та умов збору даних обумовлюють використання різних платформ IoT, що потребують особливих методів збору, передачі та опрацювання даних. Більше того, в реальному житті різні засоби, середовища та платформи IoT повинні співіснувати з іншими типами ІТ.

Якщо припустити, що кілька платформ IoT можуть використовуватися одночасно для вимірювання параметрів з річок, озер, морів, підземних вод тощо, неодмінно виникне питання одночасної обробки великих обсягів гетерогенної інформації з масивних пристроїв IoT. Приклад співіснування різних систем IoT надано на рис. 1.

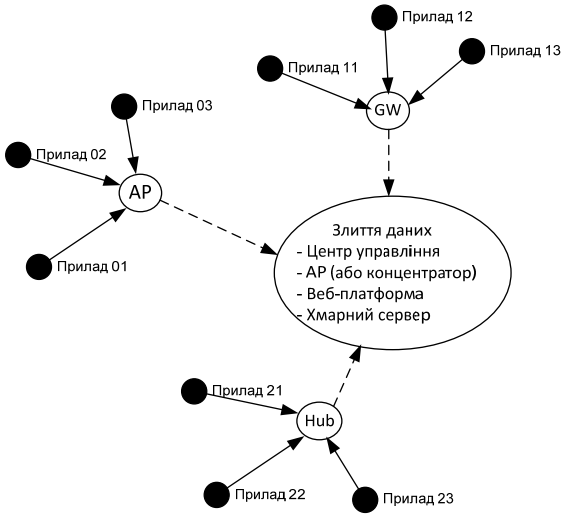



Рис.1 Приклад взаємодії різних IoT платформ (адаптовано з [2])

За умов, коли кожна платформа IoT має типову структуру, що складається з кінцевого приладу, концентратора і центру злиття, можливо розробити єдину технологію обробки і передачі даних. Так, у схемі рис. 1. кожен кінцевий прилад фіксує інформацію відповідно до власних цілей, концентратор (Hub) відповідає за збір даних з багатьох пристроїв і перенаправляє його в центр злиття. Нарешті, всі дані передаються до центрів злиття, які виконують їх обробку, управління та аналіз. У середній точці концентратори можуть діяти по-різному відносно платформ IoT, наприклад, або в якості точки доступу (access point, AP), або в якості шлюзу (gateway, GW). Загальним завданням кінцевого вузла IoT є передача даних, що зчитуються, до конкретного вузла або центру злиття; однак, питання як ефективно збирати, зберігати і передавати дані з великої кількості вузлів-джерел, все ще залишається проблемою.

Для вирішення цієї проблеми можливо використовувати моделі компресійного вимірювання (Compressive Sensing, CS), запропоновані в [2]. Компресійне вимірювання – це технологія, що дозволяє проводити попередню вибірку даних зі швидкістю, меншою за частоту дискретизації Найквіста [3, 4].

Теорія CS стверджує, що якщо сигнал є розрідженим у області перетворення, то він може бути реконструйований з невеликого набору лінійних вимірювань з використанням алгоритмів спрощеної оптимізації. Передбачається, що кожен вузол отримує самостійно й ідентично розподілені (i.i.d.) сигнали. У цьому випадку компресійне вимірювання може використовуватися для ефективного зменшення частоти дискретизації без виродження продуктивності відновлення. Так, k-стиснений сигнал $x \in R^n$ може бути повністю

описаний k ненульовими компонентами. x може бути відібрано з диверсифікуючою матрицею і можна отримати вектор вимірювання y. Процес вибірки можна описати наступною моделлю:

$$y = Ax + \delta,$$

де якій A позначає матрицю вимірювання розміром $m \times n$, $\delta$ - шум.

У мережах IoT вимірювання **y** можна представити як:

$$y = \left[y_1, ..., y_m\right]^T = \sum_{j=1}^{n} A_{i,j} x_j,$$

де $y_m$ можна представити у вигляді лінійної комбінації малорозмірного сигналу $x_i$.

Кожен вузол може обчислювати $x_j$, помноживши відповідний елемент матриці $A_{i,j}$, який можна побудувати, вибравши записи як i.i.d. реалізацій з деякого розподілу ймовірностей [5].

Потім, рандомізовані значення можуть використовуватися для агрегації $A_{i,j}x_j$ в центрі злиття. Таким чином, значення y стає доступним у центрі злиття даних.

Враховуючи, що мережа з n вузлами при розташуванні $\{p_i\}$, i = i,...,n здійснює моніторинг декількох подій, припустимо, що вузли $N_a(t)$ знаходяться в активному режимі, а $N_s(t)$ - у сплячому режимі в момент часу t. Нехай $x_i$ позначає вихідне значення при $p_i$. Тоді вимір $y_i$ непарного вузла і може бути представлений як

$$y_i = \sum_{j=1}^{n} A_{j,i} x_j + \delta_i,$$

де $A_{i,j} = A_{i,j}$ - вплив цієї події на точку сенсора $p_i$, а $\delta_i$ - випадковий шум вимірювання нульового середнього. Тут x є розрідженим, а $A_{i,j}$ визначається під час розгортання мережі.

Припустимо, що вплив $A_{i,j} = 0$, якщо відстань від j до i більше, ніж діапазон зв'язку. Тоді вимірювання $y_i$ можна визначити наступним чином:

$$y_i = x_i + \sum_{j=1}^{n} A_{j,i} x_j + \delta_i.$$

Тоді, згідно [2], для активних вузлів $y_a$ мережі маємо:

$$y_a = MAx + \delta_a,$$

де A - матриця розміром $n \times n$, де (i, j)-й елемент є значенням $A_{i,j}$, M – матриця вимірювань розміром $m \times n$, яка вибирає m рядків з A відповідних активним датчикам, $y_a$ і $\delta_a$ – відповідно вектори вимірювання і шуму розміром $m \times 1$.

Якщо деякі пристрої IoT в мережі мають більше значення, ніж інші, центр злиття даних може врахувати це значення при реконструкції переданих даних, шляхом додавання до базової моделі вагових векторів.

До переваг моделей компресійного вимірювання можна віднести наступні: кількість зразків, що генеруються кожним вузлом, може бути значно зменшено без втрати точності відновлення; що в свою чергу може призвести до значного скорочення комунікацій в мережах; вартість обчислень на вузлах також може бути зменшена.

**Висновки.** Враховуючи позитивний досвід використання моделей CS, подальші дослідження будуть направлені на пошук найкращого в сенсі точності та обчислювальної складності методу злиття даних та розрахунок ефективності стиснення даних моніторингу водних об‘єктів в різних IoT платформах.

**Література**

1. Smart Sensors for Real-time water quality monitoring / Mukhopadhyay S.C., Mason A. (Eds.) – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. Lee H. A Compressive Sensing-based Data Processing Method for Massive IoT Environments / H. Lee, N. Lee // IEEE Conference ICTC. – 2016. – pp. 1242-1246.
3. Donoho D.L. Compressed sensing / D.L. Donoho // IEEE Trans. Inform. Theory. – 2006. – vol. 52, no. 4. – pp. 1289 – 1306.
4. Cand`es E.J. Conmpressive sensing / E. J. Cand`es // International Congress of Mathematicians. –2006. – vol. 3. – pp. 1433 – 1452.
5. Ji Y. Compressed sensing based multi-user detection with modified sphere detection in machine-to machine communcations / Y. Ji, C. Bockelmann, A. Dekorsy // International ITG Conference on Systems, Communications and Coding. – 2015. – pp. 1-6.

**References**

1. Smart Sensors for Real-time water quality monitoring / Mukhopadhyay S.C., Mason A. (Eds.) – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. Lee H. A Compressive Sensing-based Data Processing Method for Massive IoT Environments / H. Lee, N. Lee // IEEE Conference ICTC. – 2016. – pp. 1242-1246.
3. Donoho D.L. Compressed sensing / D.L. Donoho // IEEE Trans. Inform. Theory. – 2006. – vol. 52, no. 4. – pp. 1289 – 1306.
4. Cand`es E.J. Compressive sensing / E. J. Cand`es // International Congress of Mathematicians. –2006. – vol. 3. – pp. 1433 – 1452.
5. Ji Y. Compressed sensing based multi-user detection with modified sphere detection in machine-to machine communcations / Y. Ji, C. Bockelmann, A. Dekorsy // International ITG Conference on Systems, Communications and Coding. – 2015. – pp. 1-6.

**Критская Я.А., Скарга-Бандурова И.С., Топчий А.О. Методы и модели сбора и обработки данных в системах мониторинга водных объектов основанных на IoT**

*В статье представлен обзор существующих и перспективных методов онлайн мониторинга загрязняющих веществ водных объектов, основанных на использовании технологии интернета вещей (IoT). Проанализированы средства сбора данных. Для решения проблемы эффективного сбора, хранения и передачи данных с большого количества узлов-источников предлагается использование моделей компрессионного измерения, позволяющие использовать априорную информацию в условиях нестабильности данных в сетях.*

***Ключевые слова:*** *данные, водный объект, интернет вещей, IoT, компрессионные измерения, модель.*

**Krytska Ya.O., Skarga-Bandurova I.S., Topchii A.O. Methods and models for data acquisition and processing in water monitoring systems based on IoT**

*The paper presents an overview of existing and promising online methods for monitoring polluting substances of water bodies based on the use of Internet of Things (IoT) technology. Analyzed the means of data collection. To solve the problem of efficiently collecting, storing and transmitting data from a large number of source nodes, it is proposed to use compressive sensing models that allow the use of a priori information in conditions of data instability in networks.*

***Keywords:*** *data, water body, Internet of things, IoT, compressive sensing, model*

**Критська Яна Олександрівна** аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kritskayana@gmail.com

**Скарга-Бандурова Інна Сергіївна,** д.т.н., зав. кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: skarga-bandurova@snu.edu.ua

**Топчій Анастасія Олександрівна** магістрант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: nas51ti@ukr.net

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Суворін О.В.***

Стаття подана 02.10.2018

УДК 539.43

# МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

**Медведь И. И.**

# SMALL-CYCLEFATIGUE OF CONSTRUCTION ALLOYS

**Medved I.**

*Построение математической модели процесса исследования малоцикловой усталости конструкционных сплавов.*

***Ключевые слова:*** *математическая модель, математические методы планирования,малоцикловая усталость, конструкционный сплав*

**Введение.**Малоцикловая усталость является одним из главных факторов, определяющих долговечность (ресурс) основных деталей конструкции.Согласно мировой статистике основная доля разрушений в инженерной практике происходит именно по причине усталости, поэтому проблема усталости является одной из наиболее актуальных научно-технических задач современности, решение которой требует дополнительных комплексных экспериментальных и теоретических исследований.

**Постановка задачи.** Задача оценки несущей способности и долговечности в условиях воздействия циклических нагрузок имеет чрезвычайно большое значение. При циклических нагружениях возникает ряд специфических явлений и трудно учитываемых аналитически факторов, которые в первую очередь связаны с развитием усталостной поврежденности, с необходимостью оценки циклической и структурной нестабильности материалов [1].Поскольку такие исследования являются очень трудоемкими и дорогостоящими, то проблема минимизации таких экспериментов в настоящее время является актуальной.В данной работе исследуется возможность использования математических методов планирования при проведении экспериментальных исследований при криогенных температурах.Под планированием эксперимента обычно понимают процедуру выбора объема и условий проведения испытаний, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью.

Условия проведения эксперимента задаются набором факторов, представляющих собой независимые переменные величины, изменением которых можно управлять в процессе эксперимента. Число возможных значений фактора, которые он принимает в различных опытах, принято называть его уровнями.

При планировании эксперимента предполагается, что каждому набору уровней факторов, то есть каждому опыту, соответствует вполне определенное поведение исследуемого объекта и соответствующие ему с точностью до ошибки опыта значение зависимой переменной (отклика).

Вид аналитической зависимости функции отклика от включенных в эксперимент факторов определяется природой изучаемого явления при этом запись в определенной последовательности условий проведения эксперимента, необходимых и достаточных для получения оценок неизвестных параметров функции отклика, называется планом эксперимента

**Анализ последних достижений и публикаций.** Проблемами прочности конструкционных сплавов в широком диапазоне температур занимается группа ученых под руководством профессора Стрижало В.А. Сложность и трудоемкость экспериментальных исследований определяет ограниченность информации по этому вопросу.

**Цель работы.** Исследование возможностей определения степени и характера влияния уровня максимальных напряжений цикла,предварительной пластической деформациии температуры испытания на малоцикловую усталость титанового сплава ПТ-3В

**Результаты исследований.** В настоящей работе предполагалось определить степень и характер влияния уровня максимальных напряжений цикла ($X_1^i$),предварительной пластической деформации($X_2^i$) и температуры испытания ($X_3^i$) на малоцикловую усталость титанового сплава ПТ-3В.

В качестве функции отклика $y$ была принята величина $\lg N_p$ ($\lg N_p$ - число циклов до

разрушения). Среднее по области значение дисперсии опыта при этом составило $s_y^2 = 0.0032$. Прямые исследования не проводились. Поэтому целесообразно было предположить нелинейную модель.

Для обеспечения максимально возможной точности в задании уровней фактора ($X_3^i$) предварительное деформирование проводилось в средах жидких хладагентов: азота и гелия, а также на воздухе при температурах 77, 4,2 и 293 К [2, 4].

Величину предварительной статической остаточной деформации фиксировали по диаграмме ($P - \Delta l$) с масштабом 1:200, а уровни фактора $X_1^н$ - по предельной кривой прочности для образцов в исходном состоянии (таблица 1).

Таблица 1

**Значениефакторов в эксперименте**

| Номер фактора, $i$ | Наименование фактора | $F_i$ | Натуральное значение, $X_i^н$ |
|---|---|---|---|
| 1 | Максимальное относительное напряжение цикла, $\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{â}}$ | 0<br>1<br>2 | 0,76<br>0,85<br>0,94 |
| 2 | Величина предварительной остаточной деформации, $\varepsilon_i$ ,% | 0<br>1<br>2 | 0<br>1<br>3 |
| 3 | Температура предварительного деформирования, $Т_н$, К | 0<br>1<br>2 | 4<br>77<br>300 |

План полного факторного эксперимента требует проведения $3^3$ опытов, а сама модель содержит большое число эффектов взаимодействий, которые не всегда оказываются статистически значимыми. Поэтому было принято решение по результатам дробного факторного эксперимента $3^{3-1}$ строить модель главных эффектов с генерирующим соотношением $F_3 = F_1 \cdot F_2^2$. Условия проведения опытов для реплики $3^{3-1}$ представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Условия проведения эксперимента**

| Номер опыта | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $X_1^i$ | $X_2^i$ | $X_3^i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0,76 | 0 | 4 |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 0,85 | 0 | 77 |
| 3 | 2 | 0 | 2 | 0,94 | 0 | 300 |
| 4 | 0 | 1 | 2 | 0,76 | 1 | 300 |
| 5 | 1 | 1 | 0 | 0,85 | 1 | 4 |
| 6 | 2 | 1 | 1 | 0,94 | 1 | 77 |
| 7 | 0 | 2 | 1 | 0,76 | 3 | 77 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 0,85 | 3 | 300 |
| 9 | 2 | 2 | 0 | 0,94 | 3 | 4 |

Чтобы получить оценки параметров модели и провести статистическую обработку и интерпретацию результатов эксперимента,удобно провести нормализацию уровней факторов. Нормализованная матрица плана дробного факторного эксперимента $3^{3-1}$ и результаты опытов представлены в таблице 3.

В результате реализации опытов былиполучены оценки параметров модели:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 +$$

$$+ \beta_{11} Z_1 + \beta_{22} Z_2 + \beta_{33} Z_3,$$

где: $X_1$, $X_2$, $X_3$- нормализованные значения линейных членов модели;

$Z_1$, $Z_2$, $Z_3$- нормализованные значения квадратичных членов модели.

Для параметров $\beta_i$ оценкой являются величины $b_i$. Таким образом,коэффициенты модели получились равные: $b_0 = 3.4639$, $b_1 = -1.1017$, $b_2 = -0.0341$, $b_3 = -0.0034$, $b_{11} = -0.1534$, $b_{22} = 0.0290$, $b_{33} = 0.0056$.

Таблица 3

**Нормализованная матрица плана**

| Номер опыта | $X_0$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $\lg N_p$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | -1 | -4 | -2.5 | 1 | 2 | 3 | 4.5750 |
| 2 | 1 | 0 | -4 | -1.0 | -2 | 2 | -4 | 3.9500 |
| 3 | 1 | 1 | -4 | 3.5 | 1 | 2 | 1 | 2.4500 |
| 4 | 1 | -1 | -1 | 3.5 | 1 | -3 | 1 | 4.3876 |
| 5 | 1 | 0 | -1 | -2.5 | -2 | -3 | 3 | 3.7552 |
| 6 | 1 | 1 | -1 | -1.0 | 1 | -3 | -4 | 2.0899 |
| 7 | 1 | -1 | 5 | -1.0 | 1 | 1 | -4 | 4.2739 |
| 8 | 1 | 0 | 5 | 3.5 | -2 | 1 | 1 | 3.6068 |
| 9 | 1 | 1 | 5 | -2.5 | 1 | 1 | 3 | 2.0864 |

Проверка их статистической значимости показала, что оценки $b_3$ и $b_{33}$ являются статистически незначимыми. Таккак матрица плана ортогональна, то соответствующие им факторы можно исключить из модели без пересчета оставшихся.Тогда уточненная модель будет иметь вид:

$$y = 3.4639 - 1.1017X_1 - 0.0341X_2 -$$

$$- 0.1534Z_1 + 0.0290Z_2 .$$

Гипотезу об адекватности полученной модели проверяли по F- критерию Фишера. При уровне значимости $\alpha = 0.05$ уточненная модель достаточно точно описывает малоцикловую усталость сплава ПТ-3В.

Для интерпретации полученных результатов следует перейти к натуральным значениям исследуемых факторов. В этом случае модель будет иметь вид:

$$\lg N_p = -26.6783 + 84.3436X_1^{\acute{i}} - 0.3130X_2^{\acute{i}} -$$

$$- 56.8147(X_1^{\acute{i}})^2 + 0.0677(X_2^{\acute{i}})^2 .$$

**Выводы.**Получена математическая модель, определяющая степень и характер влияния уровня максимальных напряжений цикла,предварительной пластической деформациии температуры испытания на малоцикловую усталость титанового сплава ПТ-3В. Анализ полученной математической модели показывает, что предположение о нелинейном влиянии максимального напряжения цикла и предварительной деформации подтвердилось. Статистическую незначимость оценок $b_3$ и$b_{33}$ можно интерпретировать как отсутствие влияния температуры предварительного деформирования на долговечность титанового сплава ПТ-3В. К томуже для решения поставленной задачи объем испытаний сократился примерно в 15 раз.

**Литература**

1. Стрижало В.А. Циклическая прочность и ползучесть металлов при малоцикловом нагружении в условиях низких и высоких температур / Стрижало В.А. – К.: Наук. думка, 1978. – 238 с.
2. Медведь И.И. Малоцикловая усталость хромомарганцевой стали 03Х13АГ19 при низких температурах (293-4,2К)/И.И. Медведь // Проблемы прочности. - 1986. - № 4. – С. 38–41.
3. Клявин О.В. Физика пластичности кристаллов при гелиевых температурах /Клявин О.В. – М.: Наука, 1987. – 256 с.
4. Медведь И.И.Циклическая ползучесть конструкционных сплавов при глубоком охлаждении/ И.И.Медведь, Н.Л.Белевцова//Сборникнаучных трудов ДонДТУ.-2011.-Вып.35.-С.252-257.

**References**

1. Strizhalo VA Cyclic strength and creep of metals under low-cycle loading under low and high temperatures / Strizhalo VA - K.: Science. dumka, 1978. - 238 p. 2. MedvedII Low-cycle fatigue of chromium-manganese steel 03H13AG19 at
2. low temperatures (293-4.2K) / II. .Medved // Problems of Strength. - 1986. - No. 4. - P. 38-41.
3. Klyavin O.V. Physics of plasticity of crystals at helium temperatures / Klyavin OV - Moscow: Nauka, 1987. - 256 p.
4. Medved II Cyclic creep of structural alloys at deep cooling / IIMedved, NLBelevtsova // Collected scientific works of DonNTU.-2011.-Вып.35.-С. 252-257

**Медвідь І.І. Малоциклова втома конструкційних сплавів**

*Побудова математичної моделі процесу дослідження малоциклової сталості конструкційних сплавів.*

***Ключові слова:*** *математична модель, математичні методи планування, малоциклова сталість, конструкційний сплав.*

**Medved I. Small-cycle fatigue of construction alloys**

*The construction of a mathematical model of the research process cycle fatigue of structural alloys.*

***Keywords:*** *mathematical model, mathematical methods of planning, low cycle fatigue of structural alloys.*

**Медвідь І.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри « будівництво, урбаністики та просторового планування» Східноукраїнського національного університету, e-mail: iw.medwed@yandex.ua.

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Смолій В.М.***

Стаття подана 12.11.2018

УДК 622.276

# РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЧИСТКИ ШЛЕЙФІВ СВЕРДЛОВИН

**Горін П. В., Поляруш К. А., Тимків Д.Ф., Романова В.В., Добрунов Д.Є.**

# FLOWLINES CLEANING METHOD DEVELOPMENT

**Gorin P., Polyaruch K., Tymkiv D., Romanova V., Dobrunov D.**

*Розроблено метод очистки шлейфу завдяки формуванню фізичної моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху як пробки, що виштовхуватиме рідину із порожнини. Композицію створено із полімерних матеріалів та води із зшиванням боритом, а для надання більшої стійкості розміщено у нещільному синтетичному матеріалі, що слугував оболонкою. Стійкість, ефективність очищування та рух пружно-полімерної композиції змодельовано на лабораторній установці. Розробку покладено для вирішення технологічної проблеми очищування промислових трубопроводів та шлейфів свердловин зрілих родовищ. Такі родовища характеризуються певними технічними та технологічними ознаками експлуатації, які лімітують можливість застосування традиційних поршнів-скребків. Аналіз даних, щодо впровадження традиційних засобів очищування на таких родовищах показав, що ефективність їх малою і базується лише на точковому відводі рідини або її раптовому перерозподілі. Встановлено, що пружно-полімерна рідинна пробка із 99% ефективністю очищує внутрішню порожнину трубопроводів, незалежно від структурної форми газорідинного потоку. Змодельовано рух пружно-полімерного поршня через модельний трубопровід і адаптовано дані експериментальних досліджень в промислових умовах експлуатації, що дало змогу встановити час проходження композиції через порожнину шлейфів свердловин та інших газопроводів. Адаптація часу проходження композиції через порожнину шлейфу дає змогу контролювати процес очищування на будь-яких трубопроводах. Крім того, розроблено технологію промислового впровадження запропонованого способу на діючих шлейфах свердловин із поетапним виконанням всіх видів робіт. Визначено, що забруднення в порожнині шлейфів свердловин і діючих промислових газопроводів до входу в центральний газозбірний пункт створюють надлишкові втрати тиску, які чинять додатковий опір на робочий гирловий тиск свердловин. Збільшення робочого тиску для таких родовищ призводить до падіння видобутку газу особливо для родовищ, що працюють на виснаження в газовому режимі. Впровадження моделі на промислах автоматизує очистку шлейфів, зменшить витрати на продування шлейфів, збільшить обсяги видобутку.*

***Ключові слова:*** *очистка шлейфів свердловин, промислові газопроводи, пружно-полімерна композиція*

**Вступ.** Найчастіше стабілізація видобутку природного газу, передусім, пов‘язана з пошуком резервів робочого тиску свердловин, варіації зменшення величини якого дозволять збільшити різницю між пластовим тиском та тиском на гирлі свердловини, викликаючи додатковий приплив газу. З цією метою вводяться в експлуатацію дотискувальні компресорні станції, знаходяться та залучаються до низьконапірної мережі газопостачання нові потужні споживачі природного газу. Крім того, удосконалюється сам процес збору і підготовки газу шляхом очищення газопроводів та шлейфів свердловин, заміни обладнання установок збору і підготовки газу, тощо [1].

Будь-який із перелічених заходів спрямовано на зниження величини робочого тиску свердловин. Але, слід зауважити, що постійна зміна втрат тиску та перерозподіл мас рідини в системі «свердловина–шлейф – установка збору і підготовки газу – промисловий газопровід» негативно позначається на величині робочого тиску свердловин родовища [2]. На даний момент операції по звільненню від накопичених стовпів рідини в порожнині ліфтових труб та шлейфах проводяться [3]:

1) продуванням трубного простору свердловини;

2) продуванням затрубного простору свердловини;

3) закачуванням піноутворювача різних типів з подальшим продуванням;

4) продуванням шлейфу на геологічний сепаратор на установку збору і підготовки газу;

5) очистка шлейфів за допомогою пін (поодинокі випадки);

6) розріз труби із стравлюванням газу в атмосферу;

7) закачуванням метанолу (в умовах гідратоутворення).

Переважна більшість із цих заходів призводить до простого перерозподілу мас рідини, оскільки зменшує об‘єм рідинної пробки лише до значень, що відповідають стану її спокою. Причому, чим

довше експлуатується свердловина, чим менший тиск на гирлі свердловини, чим менша її потужність, тим менше можливості впливати на її локацію за допомогою високошвидкісного потоку газу.

Застосування піноутворювачів для створення та подальшого проштовхування під дією робочого тиску вимагає стабільної швидкості руху пінної пробки в межах 2-4 м/с для збереження її цілісності.

Отже, на даний момент, в галузі немає результативного методу підвищення ефективності роботи шлейфів та зниження негативного впливу забруднень на величину робочого тиску свердловин на завершальній стадії експлуатації. Оптимальним технічним рішенням може стати розробка пружного рідинного поршня та технології очистки шлейфів свердловин за його допомогою. Розробка базується на представленні результатів експериментальних досліджень процесу очищення шлейфу свердловини за допомогою еластичних полімерних поршнів з саморуйнуючою оболонкою. Наступним етапом розраховано і апроксимовано до реальних умов експлуатації час проходження пружно-полімерної композиції через порожнину трубопроводу і обсяг забруднень, що видаляються з шлейфу в процесі очищення.

Актуальність розробки полягатиме в можливості її застосування на усіх трубопроводах незалежно від форми руху газорідинних потоків, конфігурації трубної арматури і технологічних параметрів роботи.

Фактично, ми акцентуємо увагу на очистці шлейфів свердловин, які є частиною газозбірної мережі, що представлена газопроводами різної протяжності та діаметру.

Періодична очистка внутрішньої порожнини газопроводів дозволяє підвищити гідравлічну ефективність та надійність транспортування газу. Залежно від виду та кількості забруднень застосовуються відповідні засоби очистки внутрішньої порожнини газопроводу [5]. З метою проведення періодичної очистки газопроводи обладнуються стаціонарними камерами прийому та запуску очисних поршнів, як частиною очисних операцій по забезпеченню потоку газу [6] або етап будівельно-монтажних робіт [7].

Для очистки трубопроводів, зазвичай, використовують скребки або поршні різних конструкцій. Існують конструкції поршнів, що оснащені різноманітними приладами, наділені широкими інформаційно-логічними можливостями. Однак, жодна з конструкцій, на теперішній час, не може бути успішно використана на трубопроводах змінного діаметру та з нерівнопрохідною запірною арматурою. Основною причиною обмеження використання цієї групи технічних пристроїв є трапецеподібна форма встановлених кранів.

Для очистки таких ділянок газопроводів необхідно застосувати спеціальну технологію, яка б врахувала аспекти як сумісної роботи родовищ, газопроводів, найближчих КС та споживачів, так і наявність на них технологічних перемичок, відводів на великі промислові вузли, підключення від родовищ, на яких не передбачено встановлення стаціонарних вузлів запуску та прийому пристроїв, а також змінну геометрію труб.

Технічні пристрої для очистки газопроводів та відводів з нерівнопрохідною арматурою поділяються на дві основні групи:

– пристрої періодичної дії для видалення конденсату з газопроводу зі змінною геометрією манжет, які самоущільнюються;

– стаціонарні пристрої для збору та відводу конденсату безперервної дії.

До пристроїв періодичної дії відносять скребкові конструкції, застосування яких стало можливим завдяки використанню розроблених УкрНДІгазом мобільних (з'ємних) камер запуску та прийому [8] очисних пристроїв. Подібні мобільні камери отримали розповсюдження і в світовій практиці експлуатації газопроводів і шлейфів, але мали помірний економічний ефект від впровадження [9].

Стаціонарне відведення рідини періодичної дії передбачає застосування конденсатовловлювачів різних типів з метою підвищення ефективності та пропускної здатності газопроводу на ділянках, що розміщені після місця встановлення, за рахунок локалізації просування забруднень. Внаслідок досить високого коефіцієнту вловлювання забруднень уловлювачі типу УЗГ-0,5, УЗГМ [10] та розширювальні камери (РК) забезпечують зростання гідравлічної ефективності розміщених за ними ділянок газопроводу на 10-15 %. Але жоден з раніш розроблених конденсатозбірників не придатний для вловлювання великих мас рідини, що поступає у процесі очистки газопроводів різними газодинамічними способами, включаючи методи створення швидкісного потоку газу, що транспортується. Це пояснюється тим, що існуючі конденсатозбірники не забезпечують ефективне вловлювання та видалення великих об'ємів рідини, що рухається у вигляді пробки, тому що значна частина рідини при цьому по інерції проходить та виноситься в газопровід. Крім того, металоємність конструкції суттєво обмежила застосування.

Періодичну дію виконують і технічні засоби для очистки внутрішньої порожнини труби від гідратів, які включають в себе такі реагенти як метанол, діетиленгліколь, поверхнево активні речовини та гелі [4]. Фактично, такий метод в світовій практиці розглядається як метод контролю вологовмісту природного газу [11]. Але як показали дослідження [12], метанол не виноситься потоком газу, а накопичується, змішуючись з водою, в понижених місцях траси та утворює водно-метанольну підложку. Поверхня вкривається вуглеводневим шаром газоконденсату та мінерального масла, що ізолює та знижує високу ефективність метанолу, як інгібітору гідратоутворення [13].

Розроблена схема і конструкція піногенератору [14] дозволяє створювати високократну піну в потоці газу, що транспортується під високим тиском, і очищення газопроводу. Конструкція парогенератору високого тиску дозволяє вибирати оптимальний режим піноутворення при постійній витраті розчину ПАР зміною швидкості потоку газу. Однак, як показує світова практика, піни не є стійкими при зіткненні із будь-якими механічними перешкодами (тобто місцевими опорами в газопроводах) [15].

Для підвищення гідравлічної ефективності газопроводів застосовують спосіб створення прискорених потоків газу. Він застосовується для виносу забруднень з понижених місць в газопроводах з невисокою швидкістю газу. Розрахунки та експериментальні дослідження на діючих газопроводах показали, що комплекс заходів для створення швидкісного потоку газу дозволяє на ділянках створити швидкості, достатні для ефективного виносу конденсату з понижених місць. Фактично, впровадження таких способів базується лише на досвіді експлуатації родовищ і суттєво впливає на технологічний процес видобутку.

На даний час, в Україні застосовуються комбіновані способи очистки внутрішньої порожнини газопроводів безперервної та періодичної дії з нерівнопрохідною арматурою із залученням обладнання закордонних фірм [16]. Застосування комбінованих методів очистки та проведення технічної діагностики трубопроводів з тривалим терміном експлуатації дають значну економію коштів, що може добре зарекомендувати себе для газозбірних систем України, де третина газопроводів мають тривалий термін експлуатації. Принципи реалізації детально викладено в [17], де і зазначено, що такі методи є точковими для понижених ділянок газопроводів, а отже впровадження вимагає суттєвої кількості таких пристроїв.

Застосування будь-якого методу для підвищення гідравлічної ефективності промислових газопроводів вимагає вирішення певного кола задач від оцінки капіталовкладень до надійності роботи системи. Вищенаведені методи укрупнено можна поділити на точкові, ефект впровадження яких можливо відчути одноразово, та постійно діючі, застосування яких обмежено внаслідок моральної застарілості і обладнання родовищ нерівнопрохідною запірною арматурою. Це, фактично, виключає можливість проведення періодичної очистки традиційними поршнями-скребками, оскільки загальна протяжність газозбірних систем зрілих родовищ України перевищує 15 тис. км і заміна лінійної частини потребуватиме значних капіталовкладень. Приведеного грошового потоку від реалізації проекту не вистачить на покриття витрат. Одним із аспектів підтримання таких систем у безаварійному стані і забезпечення ефективного видобутку вуглеводнів є вилучення забруднень з понижених місць системи газопроводів і шлейфів свердловин.

Отже, питання очищення такого типу трубопроводів і забезпечення тривалого ефекту від застосування стоїть доволі гостро, що обґрунтовує необхідність розробки новітнього, ефективного і економічного методу очистки внутрішньої порожнини газопроводів системи збору і транспортування газу.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є розробка способу очистки внутрішньої порожнини газопроводів системи збору і транспортування газу, незалежно від конфігурації трубної арматури і типу газоріднинного потоку.

Для досягнення заданої мети були поставлені такі задачі:

– провести експериментальні дослідження по створенню пружно-полімерної композиції в еластичній оболонці, що використовуватиметься як поршень, здатний проходити місця змінного діаметру, опори шлейфів та газопроводів;

– розробити регресійну модель часу проходження еластичного поршня через порожнину газопроводу системи збору і міжпромислового транспортування газу з її адаптацією до фактичних умов експлуатації з метою визначення часу руйнування пружно-полімерної композиції і моменту приймання забруднень в сепараційному обладнанні на установках;

– адаптувати регресійну модель до фактичних умов експлуатації газопроводів із розробкою технології дослідного випробування.

**Викладення основного матеріалу статті.** Процес досліджень поділено на два основних етапи:

1) формування моделі поршня із полімерного матеріалу з густиною, необхідною для його руху у вигляді пробки, що виштовхуватиме накопичену рідину з внутрішньої порожнини трубопроводу різного призначення;

2) фізичне моделювання процесу руху пружно-полімерної композиції з 1,5 % вмістом полімеру, яку, для надання їй форми, розміщено в нещільному синтетичному матеріалі, через порожнину моделі шлейфу.

Для практичної реалізації поставлених цілей виготовлено пружно-полімерні композиції наступного складу, характер поведінки яких в порожнині моделі шлейфу представлено в табл. 1.

За характером поведінки для подальших досліджень обрано зразок №3. Оскільки під дією потенціальної енергії газу композиція може втратити форму, прийнято рішення використати допоміжні засоби для забезпечення її стійкості.

Характер поводження допоміжних засобів досліджено на найбільш екстремальних режимах з точки зору розробки родовищ на завершальній стадії. Це зроблено в умовах низького робочого тиску, величина якого прямує до атмосферного, та низького дебіту, що відповідає швидкості руху газу до 0,5 м/с.

Таблиця 1

**Характеристика полімерів, що використано для пружно-полімерної композиції**

| № зразка | Полімерна композиція, мас. % | Густина, кг/м$^3$ | В'язкість за Брукфільдом, СПз | Характер поведінки композиції |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,5 | 1025 | 86 | Руйнується під дією газового потоку, поводиться як рідина |
| 2 | 1,0 | 1030 | 92 | Руйнується під дією газового потоку, розпадається на частини, що переміщуються через порожнину труби |
| 3 | 1,5 | 1030 | 99 | Частково зберігає форму, поводиться як пробка |
| 4 | 2,0 | 1035 | 104 | Поводиться як неньютонівська рідина, розпадається на окремі желеподібні частини |
| 5 | 2,5 | 1040 | 116 | Розпадається на окремі желеподібні частини, погано переміщується у порожнині |

В якості допоміжних засобів використано такі речовини і об'єкти (табл. 2).

Таблиця 2

**Допоміжні засоби для пружно-полімерної композиції**

| Назва | Характер застосування | Характер поводження під час руху | Забезпечення наданню композиції форми |
|---|---|---|---|
| Самоущільнювальна манжета | Розміщується перед композицію і діє в якості поршня під впливом тиску газу | Застрягає в запірній (нерівнопрохідній) арматурі та в місцях переходів | Частково забезпечує |
| Поршень губкового або поролонового типу | Те саме | Застрягає в місцях ущільнень та місцевих звужень | Частково забезпечує |
| Оболонка із нещільного синтетичного матеріалу | Пружно-полімерна композиція розміщується в оболонку, після чого запасовується в шлейф | Рухається без зупинок, не застрягає, стінка труби змащується частками композиції | Забезпечує |

Отже, під час планування експериментальних досліджень використано об'єкт досліджень: пружно-полімерна композиція з 1,5 % вмістом полімеру в нещільному синтетичному матеріалі, що руйнується через шлейф. Завданням проведення експериментальних досліджень математичного моделювання передбачає оцінку:

– часу проходження пружно-полімерної композиції через шлейф, с;

– коефіцієнту очистки порожнини труби від накопичених забруднень.

За результатами проведення експерименту необхідно знайти математичну модель об'єкту дослідження, під якою розуміють рівняння, що зв'язує показники процесу з чинниками, що діють на нього y=(x1, x2,….x3), причому чинники мають бути незалежними і керованими, тобто має існувати можливість їх зміни в певному діапазоні без впливу на інші чинники.

Для випадку, що розглядається, обрано три основних чинники, незалежні між собою і величина яких може змінюватись в рамках планування експерименту при сталому тиску і температурі на вході в трубопровід:

$$t = f(V_{забр}, \omega(q), \rho_{забр}), \quad (1)$$

де $t$ – час проходження пружно-полімерної композиції, с;

$V_{забр}$ – об'єм забруднень різного типу в порожнині трубопроводу, дм$^3$;

$\omega(q)$ – лінійна швидкість газу, що регулюється продуктивністю свердловини, м/с;

$\rho$ – густина забруднень, кг/дм$^3$.

Дослідження спрямовано на обрання такої кількості неповторюваних дослідів і на стількох рівнях, щоб у підсумку отримати рівняння регресії. Це рівняння має адекватно описувати вплив усіх значимих чинників на функцію відгуку із найменшою похибкою, аналогічною до використаної в роботі [18].

Час проходження пружно-полімерної композиції через внутрішню порожнину трубопроводу із гладкою поверхнею за результатами експериментальних досліджень можна описати регресійною моделлю.

Вихідні дані:

– кількість рівнів – 3 (нижній, середній, верхній);

– загальна кількість дослідів – 27;

– режим роботи – ізотермічний, умовно-стаціонарний ізобаричний.

На основі обробки робочої матриці планування експерименту та результатів розрахунку коефіцієнтів регресії і робочих дисперсій в матриці визначено, що розсіювання експериментальних даних змінної стану відносно рівняння регресії має такий самий порядок, як і розсіювання, спричинене випадковими змінами в об'ємі дослідження (помилка досліду), а рівняння регресії матиме наступний вигляд із числовими значеннями коефіцієнтів, що враховують нелінійність, тобто ефект взаємодії чинників і критерій, який оцінює границі дослідження (відношення часу проходження композиції по трубі):

$$\frac{t}{l} = 16{,}24 - 0{,}81\omega(q) + 0{,}84V_{забр} + 0{,}85\rho_{забр}, \quad (2)$$

де $l$ – довжина досліджуваного трубопроводу, дм.

Час проходження пружно-полімерної композиції через внутрішню порожнину трубопроводу із гладкою поверхнею внутрішньої стінки труби в секундах на дециметр за результатами експериментальних досліджень можна описати регресійною моделлю, що має вигляд формули (2).

В цьому рівнянні швидкість руху газового потоку в трубопроводі регулювалась за допомогою крану в кінцевій точці шляхом його відкриття-закриття.

В реальних умовах експлуатації, зокрема шлейфів свердловин, лінійна швидкість газу залежить від режиму роботи свердловини (робочого тиску, температури і дебіту), а також від технічної характеристики труби [19]:

$$\omega = \frac{q}{F}\cdot\frac{z\cdot T\cdot P_0}{P\cdot z_0\cdot T_0} = \frac{4}{\pi}\cdot\frac{1{,}033\cdot q\cdot z\cdot T}{1\cdot 273{,}15\cdot P\cdot d^2} = \\ = 5{,}575\cdot 10^{-4}\,\frac{q\cdot z\cdot T}{P\cdot d^2} \text{ (дм/с)}, \quad (3)$$

де $P_0$, $T_0$, $z_0$ – тиск, температура і z-фактор в нормальних умовах;

$P$, $T$, $z$ – фактичний тиск (бар), температура (К) і коефіцієнт стиснення;

$q$ – дебіт свердловини, тис. м$^3$/добу.

Виходячи з аналізу, в попередньому підрозділі об‘єм забруднень, що накопичено в трубопроводі, запишемо, як в [20]:

$$V_{забр} = a\cdot\frac{\pi D^2}{4}\cdot L, (\text{дм}^3), \quad (4)$$

де $D$, $L$ – внутрішній діаметр і довжина шлейфа, відповідно, дм

$a$ – приймемо як коефіцієнт, що характеризує ступінь заповнення геометричного об’єму газопроводу рідиною, і визначається за формулою [20]:

$$a = 0{,}2513 - 0{,}2099E - 0{,}09083i + \\ + 0{,}641875(1-E)(1-i), \quad (5)$$

де $E$ – коефіцієнт гідравлічної ефективності шлейфу, долі одиниці;

$i$ – гідравлічний ухил висхідних ділянок шлейфу свердловини, рад.

Реальний час проходження 1 дм через порожнину обраного для досліджень трубопроводу з гладкою внутрішньою поверхнею:

$$t = \frac{16{,}24 - 0{,}81\omega(q) + 0{,}84V_{забр} + 0{,}85\rho_{забр}}{60{,}30}, \text{ (с)}. \quad (6)$$

Повторні дослідження для труб зі збільшеною шорсткістю проводились аналогічно до чистих труб, результати якого представлено вище. Під час проведення експериментальних досліджень часу проходження через внутрішню порожнину трубопроводу із жорсткою стінкою, опір якої моделювався шляхом розміщення певного об‘єму бориту в трубі, виявлено збільшення його величини вчетверо. Враховуючи це, та підставляючи формули (3) і (4) в формулу (6), отримаємо час необхідний для подолання одного погонного дециметру шлейфу:

$$t = \frac{4}{60{,}30}(16{,}24 - 0{,}81\cdot 5{,}575\cdot 10^{-4}\,\frac{q\cdot z\cdot T}{P\cdot d^2} + \\ + 0{,}84\cdot 10^3\cdot a\,\frac{\pi d^2}{4}L + 0{,}85\cdot 10^{-3}\rho_{забр}) = \\ = \frac{4}{60{,}30}(16{,}24 - 4{,}5\cdot 10^{-4}\,\frac{q\cdot z\cdot T}{P\cdot d^2} + \\ + 210\cdot a\cdot\pi\cdot d^2\cdot L + 0{,}85\cdot 10^{-3}\rho_{забр}).$$

Відносно шлейфу певної довжини час проходження пружно-полімерної композиції через його порожнину можна оцінити за наступною формулою, дотримуючись критеріїв подібності [3]:

$$t = \frac{40\cdot L}{60{,}30}(16{,}24 - 4{,}5\cdot 10^{-4}\,\frac{q\cdot z\cdot T}{P\cdot d^2} + 210\cdot a\cdot\pi\cdot d^2\cdot L + \\ + 0{,}85\cdot 10^{-3}\rho_{забр})$$

або, спростивши:

$$t = \frac{2}{3}\cdot L\cdot(16{,}24 - 4{,}5\cdot 10^{-4}\,\frac{q\cdot z\cdot T}{P\cdot d^2} + \\ + 210\cdot a\cdot\pi\cdot d^2\cdot L + 0{,}85\cdot 10^{-3}\rho_{забр}), \text{с} \quad (7)$$

де $L$ – довжина шлейфу свердловини, м;

$q$ – дебіт свердловини, тис.м$^3$/добу;

z – коефіцієнт стиснення газу;

$T$ – температура газового потоку, К;

$P$ – тиск в досліджуваному перерізі шлейфу, (бар) кгс/см$^2$;

$d$ – внутрішній діаметр шлейфу свердловини, м;

$\rho_{забр}$ – густина основної складової забруднень в трубопроводі [21].

Формула (7) дає змогу оцінити час проходження полімерно-пружної композиції в якості очисного поршня від гирла свердловини до блоку вхідних ниток на УКПГ. За цим часом оператор контролює процес переключення засув на видобувних і факельних лініях на УКПГ при прийманні забруднень. Час саморуйнування оболонки для пружно-полімерної композиції має бути не меншим за розрахований час за рівняннями регресії.

Ефективність заходів з очистки внутрішньої порожнини шлейфу свердловини за допомогою пружно-полімерної композиції оцінюють за коефіцієнтом очистки шляхом порівняння даних про гідравлічну ефективність шлейфу до і після проведення очисних операцій [3]:

$$k_{оч} = \frac{V_{забр}^{до} - V_{забр}^{після}}{V_{забр}^{до}} \quad (8)$$

де $V_{забр}^{до}$, $V_{забр}^{після}$ – розрахунковий об‘єм забруднень до і після проведення операцій по очистці шлейфу свердловини, що визначається за формулою (4).

**Розробка технології дослідного випробування.** Технологічні вимірювання проводяться відповідно до правил і методології проведення таких видів робіт в три етапи. Передпроектний етап включає: вимірювання PVT-параметрів на свердловині і УКПГ; збір даних щодо типу родовища, компонентного складу газу, оцінки типу забруднень та орієнтовної густини. Далі слід дослідити рельєф місцевості, визначити кути нахилу висхідних ділянок, кількість понижених місць трасою шлейфу.

Останнім кроком є оцінка об‘єму забруднень в порожнині шлейфу за формулою (4) та часу проходження композиції через порожнину шлейфу за формулою (7).

Підготовчий етап вимагає формування двох бригад дослідників, одну з яких розміщують на площадці свердловини, другу - на блоці вхідних ниток УКПГ. Обидві бригади оснащуються контрольно-вимірювальними приладами. Бригада на гирлі свердловини використовуватиме також обладнання, необхідне для закачування пружно-полімерної композиції до порожнини шлейфу (високошвидкісним міксером, реагентами, основною речовиною, водою тощо) та допоміжним обладнанням (компресором, перехідниками, інструментами). Контроль руху поршня через порожнину шлейфу повинен проводитись шляхом візуального спостереження за тиском на початку та в кінці шлейфу та за секундоміром. Крім того, обидві бригади повинні оснащуватись засобами протипожежної безпеки та індивідуального захисту.

Основний етап проводиться в декілька стадій відповідно до руху поршня і регулюється засувами на фонтанній арматурі свердловини (рис.).

1. Закривається надкореневa засува №6 та робоча засува на початку шлейфу №1, що дозволить стравити тиск в фонтанній арматурі свердловини шляхом продувки газу на амбар через відкриті засуви №4 і №5. При закритих засувах №4, 5, відкритій аварійній засуві №3, під‘єднується гнучка трубка високого тиску за допомогою фланцевого з‘єднання до фланцевого з‘єднання над засувою № 3. За допомогою насосу і забірних трубок подається технічна рідина із розчиненими ПАР та інгібіторами в порожнину між засувами №4 і №1, відкривається засува №1 та засува №6 для передавлювання технічної води в шлейф.

2. При закритій надкореневій засуві №6 та робочій засуві на початку шлейфу №1, стравлюється тиск в фонтанній арматурі свердловини шляхом продувки газу на амбар через відкриті засуви №4 і №5. Для введення поршня в клин засуви № 1 демонтовується засува №4, причому довжина поршня має забезпечити вільний переріз між засувами №6 і №1. Після цього проводиться демонтаж засуви №4 з її наступним закриттям. При відкритті засуви №6 та №1 поршень почне рухатись через порожнину шлейфу, штовхаючи перед собою технічну воду.

3. Якщо необхідно ввести поршень, довжину якого неможливо зробити таким, щоб не перекривати вільний переріз труби між засувами №6 та №3, то після повтору операцій із стравлюванням газу повторно закривають засуви №1 і №6.

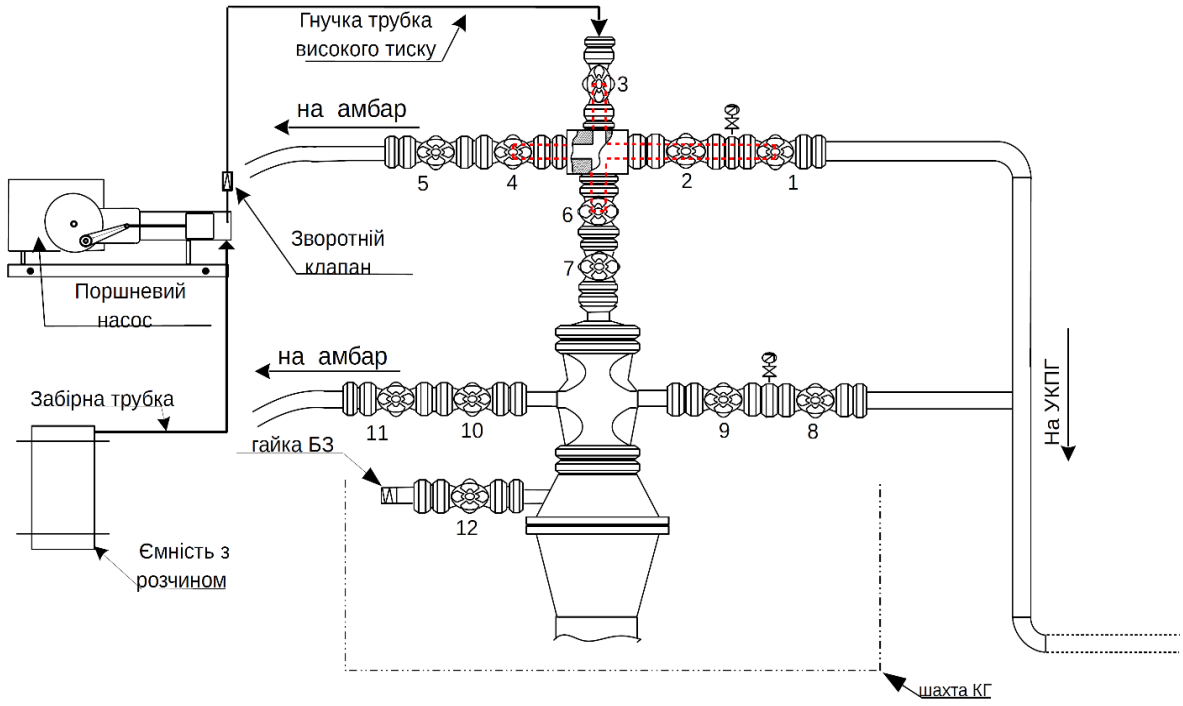



Рис. Схема вводу пружно-полімерної композиції в порожнину шлейфу

Після демонтажу фланцевого з‘єднання з засувою №5 та засувою № 11, закривають аварійну засуву № 10 та вводять поршень потрібної довжини через засуви №5 до засуви №1, а після повторного встановлення на фланцеве з‘єднання гнучкого перехідника на засуви №5 та №11, відкривають засуви №10 і №1 і затрубним тиском продавлюють поршень в порожнину шлейфу, при цьому в подальшому гнучкий перехідник демонтується.

4. Приймання забруднень і поршня проводять в сепараторах на УКПГ після проходження блоку вхідних ниток. Приймання початкової маси забруднень відбувається в сепараторах першої ступені. Після проходження певного часу, залежно від швидкості поршня, готуються до переключення свердловини для продувки на амбар.

5. Після сигналізування проходження поршня в блок вхідних ниток (контроль має проводитись відповідальним фахівцем на УКПГ) закривається засува на УКПГ на вхідній нитці очищуваної свердловини. Відкривається засува на амбар і приймання останньої маси забруднень і поршня відбувається або в амбарі, або в факельному сепараторі. Після вистрілювання поршня в амбар або надходження його до сепараційного простору факельного сепаратора закривають засуву на продування свердловини на амбар і відкривають робочу засуву на УКПГ.

На заключному етапі оцінюють ефективність очищення шлейфу свердловини. Повторно вимірюють дебіт свердловини протягом визначеного часу, записують покази тиску на гирлі свердловини і на вході в УКПГ і відповідну зміну температури.

Оцінюють зміну коефіцієнту гідравлічної ефективності та відповідну зміну об‘єму забруднень в порожнині шлейфу після проведення очищення за формулою (4). Оцінюють коефіцієнт очищення порожнини шлейфу свердловини за формулою (8).

Рішення щодо ефективності проведення операцій по очистці приймають за отриманими результатами аналізу: зміни дебіту свердловини; зміни робочого тиску на гирлі свердловини. Також, слід прийняти до уваги зміну коефіцієнту очищення свердловини і кількість утилізованої рідини та її вартість.

**Висновки.** В результаті проведення стендових досліджень, встановлено що:

1) для очистки внутрішньої порожнини в якості пробкового рідинного поршня рекомендовано застосувати пружно-полімерну композицію на основі 1,5% полімеру (гуарова камідь, загущена боратовим зшивачем), яка ефективно очищає гладкостінний трубопровід (еквівалентною шорсткістю 0,015 мм). Для забезпечення стійкості композиції, її потрібно розміщувати в нещільній міцній оболонці, що формуватиме циліндричну форму та уникнути розривів під час проходження через порожнину діючого шлейфу свердловин. Оболонка повинна мати органічне походження і руйнуватись після певного часу, оскільки приймання композиції на УКПГ буде проводитись після проходження блоку вхідних ниток в геологічному сепараторі або в одному з сепараторів І ступені. В промислових умовах, особливо при проходженні висхідних «сухих» ділянок шлейфів свердловин, можливо застрягання пружно-полімерної композиції в порожнині шлейфу. Тому, технологія очистки діючого шлейфу має передбачити використання поршня, що складатиметься із двох частин:

– пружно-полімерна композиція в оболонці (штовхаючий пристрій);

– технічна вода із додаванням поверхнево-активних (миючих або слизьких) речовин та інгібітору корозії (речовина, яку штовхають);

2) розроблено регресійну модель руху пружно-полімерної композиції через порожнину шлейфу та адаптовано до промислового використання шляхом зв’язку її з основними параметрами роботи шлейфу свердловини або міжпромислового газопроводу (фактично з технологічним режимом його роботи). Модель показує наскільки щільною необхідно створити композицію до моменту руйнування її зовнішньої еластичної оболонки, а також визначає час початку приймання забруднень в сепараційному обладнанні установок;

3) розроблено дослідну технологію реалізації процесу очищування діючих шлейфів свердловин для типових родовищ за допомогою керування процесу на запірній арматурі свердловини і установки збору та підготовки продукції відповідно до часу, розрахованого за регресійною моделлю руху пробки.

Практичною цінністю цієї роботи є подолання проблеми надлишкового протитиску в системі трубопроводів, обладнаних нерівнопрохідною арматурою, та шлейфів свердловин, що в підсумку призводить до падіння робочого тиску на гирлі свердловин родовищ, що працюють на виснаження в газовому режимі, та можливості нарощування видобутку природного газу.

Представлена методика захищена патентом України на корисну модель в поточному році [22].

**Література**

1. Гиматудинов Ш.К. Разработки и эксплуатация нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений / Ш.К. Гиматудинов, И.И. Дунюшкин, В.М. Зайцев, Ю.П. Коротаев, Е.В. Левыкин, В.А. Сахаров //Учеб. для вузов - М.: Недра, 1988. - 302 с.
2. Капцов І. І. Зниження втрат тиску в системі газопроводів як один із чинників збільшення обсягів видобутку газу на родовищах / І. І. Капцов, С. О. Саприкін, М. І. Братах, В. Є. Співак //Нафтова і газова промисловість.- 2009. - № 2. - С. 58-59.
3. Бойко В. С. Довідник з нафтогазової справи/ В. С. Бойко, Р. М. Кондрат, Р. С. Яремійчук // Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. Київ - Львів, 1996. - С. 620.
4. Капцов И. И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах / И. И. Капцов // Москва : Изд-во Недра, 1988. - С.160.

5. Девичев В.В. Анализ эффективности и периодичности очистки полости магистральных газопроводов/ В.В.Девичев, Д.А. Ионин // Транспорт природного газа. - Москва: ВНИИГАЗ, 1986. - С.64-70.
6. Gupta A., Need of Flow Assurance for Crude Oil Pipelines A Review. / A. Gupta, A. Sircar// International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, 2015. - No. 2. - Vol. 6. P. 1-7.
7. Anand G. Introduction to Pigging & a Case Study on Pigging of an Onshore Crude Oil Trunkline / G. Anand & S. Anirbid // International Journal of Latest Technology in Engineering, 2016. - Vol. V, Issue II, 18-25. Retrieved from http://www.ijltemas.in/DigitalLibrary/ Vol.5Issue2 /18-25.pdf
8. Шеїна З.В. Аналіз технологічних заходів для запобігання ускладнень експлуатації об'єктів лінійної частини газопроводів, що транспортують газ родовищ, які працюють на виснаження / З.В. Шеїна, А.В. Соболєва, І.М. Рузіна // Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наук. Праць. Вип. XXXIX. - Харків: УкрНДІгаз, 2011. - С. 258-265.
9. Quarini J. A review of fluid-driven pipeline pigs and their applications / J. Quarini, S. Shire // Journal of Process Mechanical Engineering, 2007. - Vol. 221. No. 1. - P. 1-10.
10. Пристрій для очистки трубопроводу: пат. 57127, Україна. №2000084938, заявл.15.03.02; опубл. 16.06.2003, Бюл. №3/2002. 7 с.
11. Abdel-Aal H. K. Fahim Petroleum and Gas Field Processing / H. K. Abdel-Aal, M. A. Mohamed Aggour // Marcel Dekker Inc, New York: Basel, 2003. - P. 358.
12. Капцов И.И. Оценка объёма отложений (загрязнений) для их утилизации при очистке газопроводов / И.И. Капцов, В.В. Розгонюк // Питання розвитку газової промисловості України: Зб. наук. праць. № 25. – Харків: Укрндігаз, 1998. - С.280-286.
13. Joseph M. Powers Lecture notes on Thermodynamics / M. Joseph // University of Notre Dame - Indiana USA, 2014. - 362 p.
14. Редько А.Ф. Исследование возможности очистки газопроводов с помощью пен поверхностно-активных веществ на моделирующем стенде / А.Ф.Редько, И.И. Капцов // Коммунальное хозяйство городов: Науч. техн. сборник. № 79. – Київ: Техніка, 2007. - С. 265-270.
15. Guo Boyun Natural gas engineering handbook / Boyun Guo, AIi Ghalambor // Gulf Publishing Company. - Houston: Texas, 2005. - P. 448.
16. Terry R. Shamblin Intelligent pigging inspection of uncoated seamless pipelines / R. Terry // Pipelines and gas journal. March, 2000.
17. Братах М.І. Динаміка рідинних формувань в порожнині міжпромислового газопроводу / М.І. Братах, І.М. Рузіна, А.В. Соболєва // Питання розвитку газової промисловості України: УкрНДІгаз, 2009. - № 37. - С. 287-293.
18. Дорошенко В.М. Основи наукових досліджень / В.М. Дорошенко // Навч. посібник. - Київ: ІСДО, 1998. - 128 с.
19. Розгонюк В.В. Довідник працівника нафтогазового підприємства / В.В. Розгонюк // Київ: вид-во Росток, 2001. - С. 1092.
20. Братах М.І. Спосіб визначення об'єму забруднень в порожнині газопроводів, що транспортують газ власного видобутку / М.І. Братах // Проблеми нафтогазової промисловості: Зб. наук. праць. – Київ: ДП Науканафтогаз, 2007. - № 5. - С. 628 - 634.
21. Дячук В.В. Проектування розробки і облаштування газових (газоконденсатних) родовищ / В.В. Дячук, Є.С. Бікман, С.О. Кисельова // Навч. посіб. Харків: БУРУНіК, 2009. - 304 с.
22. Горін В.П. Спосіб очищення внутрішньої порожнини трубопроводу / В.П. Горін, Д.Ф. Тимків, В.Я. Грудз // Патент Україна. №201803083, заявл.26.03.18; опубл. 06.08.2003, № 21412/ЗУ/18. 7 с.

**R e f e r e n c e s**

1. Gimatudinov, Sh.K., Dunyushkin, I.I., Zaytsev, V.M., Korotaev, Yu.P., Levykin, Ye.V., & Sakharov, V.A. (1988). Razrabotki i ekspluatatsiya neftyanykh, gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeny [Development and Life of Oil, Gas and Gas-Condensate Fields]. Moscow: Nedra. (in Russian)
2. Kaptsov, I. I., Saprykin, S. O., Bratakh, M. I., & Spivak, V. Ye. (2009). Znyzhennia vtrat tysku v systemi hazoprovodiv yak odyn iz chynnykiv zbilshennia obsiahiv vydobutku hazu na rodovyshchakh [Pressure Loss Reduction in the Gas Flowline System as One of the Factors for Gas Recovery Enhancement]. *Naftova i hazova promyslovist – Oil and Gas Industry*, Vol. 2, 58-59. (in Ukrainian)
3. Boiko, V. S., Kondrat, R. M., & Yaremiichuk, R. S. (1996). *Dovidnyk z naftohazovoi spravy [Guidebook for Oil and Gas Engineering]*. Lviv: Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. (in Ukrainian)
4. Kaptsov, I. I. (1988). *Sokrashchenie poter gaza na magistralnykh gazoprovodakh [Gas Loss Reduction in Main Pipelines]*. Moscow: Nedra. (in Russian)
5. Devichev, V.V., & Ionin, D.A. (1986). Analiz effektivnosti i periodichnosti ochistki polosti magistralnykh gazoprovodov [Analysis of Effectiveness and Frequency of Main Pilpelines Cleaning]. *VNIIGAZ – Ukr. Inst. of Nat. Gas*, 64-70. (in Russian)
6. Gupta, A., & Sircar, A., (2015). Need of Flow Assurance for Crude Oil Pipelines: A Review. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 6, No. 2, 1-7.
7. Anand, G., & Anirbid, S. (2016). Introduction to Pigging & a Case Study on Pigging of an Onshore Crude Oil Trunkline. *International Journal of Latest Technology in Engineering*, Vol. V, Issue II, 18-25. Retrieved from http://www.ijltemas.in/DigitalLibrary/Vol.5Issue2/18-25.pdf
8. Sheina, Z.V., Sobolieva, A.V., & Ruzina, I.M. (2011). Analiz tekhnolohichnykh zakhodiv dlia zapobihannia uskladnen ekspluatatsii ob'iektiv liniinoi chastyny hazoprovodiv, shcho transportuiut haz rodovyshch, yaki pratsiuiut na vysnazhennia [Analysis of Technological Measures for Troubleshooting of Operation of Linear Part of Gas Pipelines During Gas Transferring at Gas Fields Operating under Gas Drive Mode]. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy – Issues of Ukrainian Gas Industry Development*, Vol. XXXIX, 258-265. (in Ukrainian)
9. Quarini, J., & Shire, S. (2007). A Review Of Fluid-Driven Pipeline Pigs And Their Applications. *Journal of Process Mechanical Engineering*, Vol. 221, No. 1, 1-10.
10. Bohuslavskyi, V.A., & Kaptsov, I. I. *Prystrii dlia ochystky truboprovodu* [Apparatus for Pipeline Cleaning]. Patent UKR, no 2000084938, 2002.
11. Abdel-Aal, H. K., & Fahim, M. A. (2003). *Petroleum and Gas Field Processing*. New York: Marcel Dekker Inc.
12. Kaptsov, I.I., & Rozgonyuk, V.V. (1998). Otsenka obema otlozheniy (zagryazneniy) dlya ikh utilizatsii pri ochistke

gazoprovodov [Estimation of Deposits Volume for Their Removal During Pipeline Cleaning]. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy - Issues of Ukrainian Gas Industry Development*, Vol. 25, 280-286. (in Russian)
13. Joseph, M. (2014). *Powers Lecture notes on Thermodynamics*. Indiana, USA: University of Notre Dame.
14. Redko, A.F., & Kaptsov I.I. (2007). Issledovanie vozmozhnosti ochistki gazoprovodov s pomoshchyu pen poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na modeliruyushchem stende[Study on Possibility of Pipelines Cleaning by Surfactant Foams Carried Out at Simulation Stand]. *Kommunalnoe khozyaystvo gorodov - Municipal Infrastructure of Cities,* Vol. 79, 265-270. (in Russian)
15. Guo, B., & Ghalambor, A. (2005). *Natural gas engineering handbook*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company.
16. Shamblin, Terry, R. S. (2000). Intelligent pigging inspection of uncoated seamless pipelines. *Pipelines and gas journal*, Vol. 227, Issue 3, 40.
17. Bratakh, M.I., Ruzina, I.M., & Sobolieva, A.V. (2009). Dynamika ridynnykh formuvan v porozhnyni mizhpromyslovoho hazoprovodu [Dynamics for Liquid Deposits Formation in the Main Pipelines]. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy - Issues of Ukrainian Gas Industry Development,* Vol. 37, 287-293. (in Ukrainian)
18. Doroshenko, V.M. (1998). *Osnovy naukovykh doslidzhen [Basics for Scientific Research]*. Kiev: ISDO. (in Ukrainian)
19. Rozghoniuk, V.V., Rudnik, A.A., & Kolomieiev, V.M. et al. (2001). *Dovidnyk pratsivnyka hazotransportnoho pidpryiemstva [Guidebook for Engineers of Gas Transmission Provider]*. Kiev: Rostok. (in Ukrainian)
20. Bratakh, M.I. (2007). Sposib vyznachennia ob'iemu zabrudnen v porozhnyni hazoprovodiv, shcho transportuiut haz vlasnoho vydobutku [Method for Deposits Volume Estimation in Gas Pipelines Which Transfer Gas of Equity Production]. *Problemy naftohazovoi promyslovosti - Issues of Oil and Gas Industry*, Vol. 5, 328-634. (in Ukrainian)
21. Diachuk, V.V., Bikman, Ye.S., Kyselova, S.O. (2009). *Proektuvannia rozrobky i oblashtuvannia hazovykh (hazokondensatnykh) rodovyshch [Basics for Development and Construction of Natural Gas Fields]*. Kharkiv: BURUNiK. (in Ukrainian)
22. Gorin V.P., Tymkiv D.F., Grudz V.Y. Sposib ochyschennia vnytrishnyoyi porozhnyny truboprovodu: patent Ukraine. №201803083, zayav. 26.03.18, opubl. 06.08.2003, №21412/ЗУ/18. 7s.

**П. В. Горин, К. А. Поляруш, Д.Ф. Тымкив, В.В. Романова, Д.Е. Добрунов Разработка способа очистки шлейфов скважин.**

*Разработан метод очистки шлейфа скважины путем формирования физической модели поршня из полимерного материала плотностью, необходимой для обеспечения его движения в виде пробки, выталкивающей жидкость. Композицию создано из полимерных материалов на основе водного раствора, сшитых боритом, а для придания большей стойкости помещено в неплотном синтетическом материале, который служит оболочкой. Стойкость, эффективность и движение полимерной композиции смоделировано на лабораторной установке. Разработку сделано для решения технологической проблемы очистки промысловых трубопроводов и шлейфов скважин зрелых месторождений. Такие месторождения характеризируются определенными техническими и технологическими особенностями эксплуатации, лимитирующими возможность применения традиционных поршней-скребков. Анализ данных по внедрению традиционных способов очистки на таких месторождениях показал, что эффективность их является малой и базируется лишь на точечном отводе жидкости или ее мгновенном перераспределении. Установлено, что полимерная жидкостная пробка с 99% эффективностью очищает внутреннюю полость трубопроводов, независимо от структурной формы газожидкостного потока. Смоделировано движение поршня через модельный трубопровод и адаптировано данные экспериментальных исследований в промысловых условиях эксплуатации, что дало возможность установить время прохождения композиции через полость шлейфов скважин и других газопроводов. Адаптация времени прохождения через полость шлейфа дает возможность контролировать процесс очистки на любых трубопроводах. Кроме того, разработано технологию опытного внедрения предложенного способа на промыслах с поэтапным проведением всех видов работ. Определено, что загрязнения в газопроводах до входа в центральный газосборный пункт создают надмерный перепад давления и сопротивление на рабочее давление на устье скважин. Возрастание рабочего давления для таких месторождений приводит к падению добычи газа, особенно для месторождений, работающих в газовом режиме на истощение. Внедрение модели на промыслах автоматизирует очистку шлейфов скважин, уменьшит расходы на продувку шлейфов, увеличит объемы добычи газа*

***Ключевые слова**: очистка шлейфов скважин, промышленные газопроводы, упруго-полимерная композиция*

**P. Gorin, K. Polyaruch, D. Tymkiv, V. Romanova, D. Dobrunov Flowlines cleaning method development.**

*A method for flowlines cleaning was developed. The method is based on formation of a physical model of a polymeric "piston" with density which transforms it into a plug that would push the fluid out from the pipeline. In order to provide the "piston's" greater stability it was wrapped in a shell made of a non-dense synthetic material. This kind of "piston" allows cleaning the pipelines and flowlines at mature fields with the efficiency of 99%, despite the gas flow structure. Modeling of the "piston's" propagation time through the flowline allows controlling the cleaning process in any kind of pipelines. After modeling the abovementioned method was implemented in the existing flowlines and all work stages were developed. Implementation of the model at the fields will automate the flowlines cleaning, reduce the costs, and increase the production.*

***Keywords:** cleaning of well flowlines, gas field pipelines, elastic-polymeicic composition*

**Горін Петро Вікторович** – аспірант, кафедра спорудження нафтогазопроводів та газонафтосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, e-mail: petrogorin@gmail.com
**Поляруш Костянтин Анатолійович** – аспірант, кафедра спорудження нафтогазопроводів та газонафтосховищ Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, e-mail: djfoog@gmail.com
**Тимків Дмитро Федорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, e-mail: informatik@nung.edu.ua
**Романова Вікторія Володимирівна** – аспірант, кафедра видобування нафти, газу і конденсату Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», e-mail: viktoriyabains@gmail.com
**Добрунов Дмитро Євгенович** – старший викладач, кафедра видобування нафти, газу і конденсату Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,
e-mail: dmitriydobrunov@gmail.com

*Рецензент:* д.т.н., проф. ***Соколов В.І.***

Стаття подана 28.09.2018

**ВІСНИК**
**СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО**
**УНІВЕРСИТЕТУ**
**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**
**№ 6 (247) 2018**

# Науковий журнал

Відповідальний за випуск Скарга-Бандурова І.С.

Оригінал-макет Могильна О.В.

**Статті надруковано в авторській редакції**

Підписано до друку 10.01.2019 р.
Формат 60 х 84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 26,1. Обл.-вид. арк. 27,9.
Наклад 300 прим. Вид. № 3197. Замов. № 43. Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

**Адреса університета:** просп. Центральний 59-А
м. Сєвєродонецьк, 93400, Україна
**E-mail:** vidavnictvoSNU.ua@gmail.com

Надруковано:
Відділ технічного обслуговування СНУ ім. В. Даля
Адреса: просп. Центральний, 59-а
м. Сєвєродонецьк, 93400