

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

*Журнал заснований у 1918 році*

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ  
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

**Серія: Технічні науки**

**Том 29 (68) № 1 2018**

**Частина 1**

**Київ  
2018**

## **Головний редактор:**

**Кисельов Володимир Борисович** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

## **Члени редакційної колегії:**

**Медведєв Микола Георгійович** (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Горбовий Артур Юліанович** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Дубко Валерій Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Єремєєв Ігор Семенович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Лисенко Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Кузьменко Борис Володимирович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Огородник Станіслав Станіславович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Чумаченко Сергій Миколайович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Цомко Олена** – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 8 від 29.03.2018 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

Сторінка журналу: [www.tech.vernadskyjournals.in.ua](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua)

## ЗМІСТ

### ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

**Бердинських С.О.**

БІНОКУЛЯРНІСТЬ ТА АНІМАЦІЯ ЯК ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ  
ПРОСТОРОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОЕКТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ..... 1

### ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

**Литвин О.О.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ  
ТОРЦІВ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ..... 7

### АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

**Азаров І.С., Сидоренко В.Л., Задунай О.С.**

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ  
ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ..... 11

### КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

**Garbuz S.K., Titov S.D.**

THE MECHANISM OF MANAGING THE VALUES OF STAKEHOLDERS IN THE PROJECTS  
OF THE FORMATION OF A NEW BRANCH SPECIALIZATION..... 17

### ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С., Кузін Д.В., Клепач Л.Є.**

ФОРМУВАННЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ БАГАТОРІВНЕВОГО КАСКАДНОГО ІНВЕРТОРА  
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ФУНКЦІЙ У ПОЛЯХ ГАЛУА..... 21

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

**Барановський Д.М., Якубовська С.В., Злепко О.С., Павлов В.С.,**

**Чернишова Т.А., Криворучко І.О.**

СУЧАСНІ ЗАСОБИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ТЕЛЕМОНІТОРИНГУ  
ЖИТТЄВИХ ФУНКЦІЙ ЛЮДИНИ: СТАН ПРОБЛЕМИ..... 27

**Єфіменко А.А., Карлангач О.П., Сконачний В.В.**

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ ІЗ ГНУЧКОЮ СТРУКТУРОЮ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ..... 32

**Михайлова А.В., Чумаченко С.М.**

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ЯК СКЛАДНИК БЕЗПЕКИ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ..... 40

**Сайко В.Г., Наритник Т.М.**

РАДІОКАНАЛ ДОСТУПУ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ  
ДЛЯ БЕЗДРОВОТИХ РАДІОСИСТЕМ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ..... 45

**Семенов А.О.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ  
НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОЇ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ..... 50

<b>Цирульник С.М., Ткачук В.М., Роптанов В.І.</b> МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІЧНОГО АНАЛІЗАТОРА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	58
--	----

## **ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ**

<b>Антипчук Б.О.</b> ЧИ ДОЦІЛЬНО ЗАСТОСОВУВАТИ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД У РОБОТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ УЩІЛЬНЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ?.....	64
<b>Бабаков Р.М.</b> СИНТЕЗ МІКРОПРОГРАМНОГО АВТОМАТА С ОПЕРАЦІОННИМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДОВ МЕТОДОМ ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА.....	70
<b>Baklan I.V., Vasilenko V.G., Shyrrii V.V.</b> SYSTEM ANALYSIS OF ABSTRACT DATA TYPES IN PROBABILITY PROGRAMMING LANGUAGES.....	75
<b>Білошицька О.К.</b> АНАЛІЗ ТА ОЦІНЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕПІЛЕПТИЧНИХ ЕЕГ-СИГНАЛІВ.....	80
<b>Вечерковська А.С., Поперешняк С.В.</b> ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛЬТРУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	86
<b>Вітюк А.Є., Корнага Я.І., Барабаш А.О.</b> ЗАХОПЛЕННЯ НЕВІДОМИХ ОБ'ЄКТІВ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	93
<b>Воєводін Є.В., Авраменко В.С.</b> ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОПОЛОГІЙ САМООРГАНІЗАЦІЙНИХ КАРТ КОХОНЕНА В СИСТЕМАХ ОРКЕСТРУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРІВ.....	99
<b>Войтович О.П., Дудатьєв А.В., Головенько В.О.</b> МОДЕЛІ та ЗАСІБ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ ОБЛІКОВИХ ЗАПИСІВ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ.....	106
<b>Гайдукевич С.В., Семенова Н.П.</b> ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ.....	114
<b>Гнатовская А.А., Мещеряков Д.В., Черепанова Е.В.</b> ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ.....	119
<b>Говорущенко Т.О., Боднар М.А., Стасенко А.С.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК CODESTYLE НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	125
<b>Грушко С.С.</b> КЛАСИФІКАЦІЯ СТРУКТУР СУМІЩЕНИХ МІКРОПРОГРАМНИХ АВТОМАТІВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ У БАЗИСІ FPGA.....	131
<b>Давидченко Д.В., Беглов К.В., Чмелев Е.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГООБЛОКА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	137

<b>Yevsieiev V.V.</b> VISUAL COMPONENTS FORMAL DESCRIPTION DEVELOPMENT FOR THE AUTOMATED DESIGN OF SOFTWARE PRODUCTS AND MODULES FOR COMPUTER- INTEGRATED PRODUCTION TECHNOLOGICAL PREPARATION SYSTEMS.....	143
<b>Kalinovsky Ya.A., Boiarinova Yu.E.</b> CONSTRUCTION OF EFFECTIVE ALGORITHMS FOR SOLVING SYSTEMS OF ISOMORPHISM EQUATIONS FOR HYPERCOMPLEX NUMBER SYSTEMS USING EXPONENTIAL REPRESENTATION .....	148
<b>Куваева В.И., Болтенков В.А., Позняк А.В.</b> ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АГРЕГИРОВАННОЙ КОНСЕНСУСНОЙ РАНГОВОЙ ОЦЕНКИ.....	155
<b>Кузьма К.Т.</b> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ ВІДПОВІДІ В СИСТЕМАХ ТЕСТУВАННЯ, ПОДАНОЇ В ТЕКСТОВІЙ ФОРМІ.....	163
<b>Купин А.И., Музыка И.О., Сенько А.А., Коваленко К.А., Мисько Б.С.</b> ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РУДОПОДГОТОВКОЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА.....	168
<b>Лобов В.Й., Лобова К.В.</b> ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА, ЩО КЕРУЄТЬСЯ ТИРИСТОРНОЮ СТАНЦІЄЮ.....	174
<b>Магдич Б.В.</b> ЗАДАЧА СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СТУДЕНТСЬКИХ РОБІТ НА ПЛАГІАТ ДЛЯ ЗАДАНОЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	180
<b>Медушевський С.В.</b> РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ І ПРИНЦИПІВ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПАКЕТА ВАЛІДАЦІЙНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	185
<b>Мнацаканян В.Г., Мнацаканян М.С.</b> ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	191
<b>Невлюдов І.Ш., Хрустальов К.Л., Функендорф А.О.</b> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ РОБОТІВ ІЗ КОНСТРУКЦІЄЮ МОДУЛЬНОГО ТИПУ.....	197
<b>Невлюдов І.Ш., Пономарьова Г.В., Бортнікова В.О.</b> ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ.....	204

# CONTENTS

## APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

**Berdynskykh S.O.**

BINOCULARITY AND ANIMATION AS A MEANS OF MODELING  
THE SPATIAL PROPERTIES OF PROJECTED OBJECTS .....1

## MACHINE SCIENCE

**Lytvyn O.O.**

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DOUBLE-SIDED GRINDING  
OF TORCHES OF PUSHERS WITH DIFFERENT DIAMETERS .....7

## AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

**Azarov I.S., Sydorenko V.L., Zadunai O.S.**

PERSPECTIVES OF USE OF UNBEILED FLYING MACHINES FOR CONDUCTING  
THE ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS .....11

## SHIPBUILDING

**Garbuz S.K., Titov S.D.**

THE MECHANISM OF MANAGING THE VALUES OF STAKEHOLDERS  
IN THE PROJECTS OF THE FORMATION OF A NEW BRANCH SPECIALIZATION .....17

## ELECTRICAL ENGINEERING

**Tereshchenko T.O., Yamnenko Yu.S., Kuzin D.V., Klepach L.He.**

FORMATION OF OUTPUT VOLTAGE OF A MULTI-LEVEL  
CASCADE INVERTER WITH USE OF FUNCTIONS IN THE GALOU FIELDS .....21

## RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

**Baranovskyi D.M., Yakubovska S.V., Zlepko O.S., Pavlov V.S.,**

**Chernyshova T.A., Kryvoruchko I.O.**

MODERN MEANS AND DEVICES FOR TELEMONITORING OF VITAL SIGNS  
OF THE PERSON: CONDITION OF A PROBLEM.....27

**Yefimenko A.A., Karlanhach O.P., Skonechnyi V.V.**

DESIGN OF ELECTRONIC MODULES WITH A FLEXIBLE STRUCTURE OF PCB.....32

**Mykhailova A.V., Chumachenko S.M.**

INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES  
AS A PART OF SAFETY IN THE SPHERE OF CIVIL DEFENCE .....40

**Saiko V.H., Narytnyk T.M.**

THZ BAND WIRELESS ACCESS CHANNEL FOR 5G WIRELESS SYSTEMS .....45

**Semenov A.O.**

RESEARCH OF THE DETERMINISTIC CHAOS OSCILLATOR BASED  
ON A BIPOLAR TRANSISTOR STRUCTURE WITH NEGATIVE RESISTANCE .....50

**Tsyurulnyk S.M., Tkachuk V.M., Roptanov V.I.**

THE TECHNIQUE OF APPLYING LOGIC ANALYZER  
TO STUDY THE INTERFACES OF INFORMATION-MEASURING SYSTEMS.....58

## **INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION**

**Antypchuk B.O.**

IS IT ADVISABLE TO USE AN ULTRASONIC METHOD IN WORK OF THE  
AUTOMATED SYSTEM OF DEFINITION OF THE DEPTH OF THE CONDENSED  
LAYER OF SOIL? .....64

**Babakov R.M.**

SYNTHESIS OF THE MICROPROGRAM FINITE STATE MACHINE  
WITH DATAPATH OF TRANSITIONS WITH THE METHOD OF EXHAUSTIVE SEARCH .....70

**Baklan I.V., Vasilenko V.G., Shyrii V.V.**

SYSTEM ANALYSIS OF ABSTRACT DATA TYPES  
IN PROBABILISTIC PROGRAMMING LANGUAGES .....75

**Biloshytska O.K.**

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF NON-LINEAR CHARACTERISTICS  
OF EPILEPTIC EEG SIGNALS .....80

**Viecherkovska A.S., Popereshniak S.V.**

CONSTRUCTION FEATURES OF AUTOMATED FILTERING  
ELEMENTS MANUFACTURE SYSTEM .....86

**Vitiuk A.Ie., Kornaha Ya.I., Barabash A.O.**

GRASPING OF NOVEL OBJECTS BY MOBILE ROBOT  
USING VISUAL PROCESSING .....93

**Voievodin Ye.V., Avramenko V.S.**

COMPARING EFFICIENCY OF DIFFERENT SELF-ORGANIZING  
KOHONEN MAP TOPOLOGIES IN VIRTUAL CONTAINERS  
ORCHESTRATION SYSTEMS .....99

**Voitovych O.P., Dudatiev A.V., Holovenko V.O.**

MODELS AND INSTRUMENT FOR DETECTION  
OF FAKE ACCOUNTS IN SOCIAL NETWORKS .....106

**Haidukevych S.V., Semenova N.P.**

FEATURES OF MODERNIZATION OF EDUCATIONAL LABORATORIES .....114

**Hnatovskaia A.A., Meshcheriakov D.V., Cherepanova E.V.**

TAKING A DECISION IN THE SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK .....119

**Hovorushchenko T.O., Bodnar M.A., Stasenko A.S.**

IDENTIFYING THE EFFECT OF CODESTYLE CHARACTERISTICS  
ON SOFTWARE QUALITY CHARACTERISTICS .....125

**Hrushko S.S.**

CLASSIFICATION OF COMBINED FSM STRUCTURES  
FOR REALIZATION ON FPGA .....131

**Davydchenko D.V., Behlov K.V., Chmelev E.Y.**

RESEARCH OF THE CASCADE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM  
OF THE NUCLEAR POWER PLANT POWER .....137

**Yevsieiev V.V.**

VISUAL COMPONENTS FORMAL DESCRIPTION DEVELOPMENT  
FOR THE AUTOMATED DESIGN OF SOFTWARE PRODUCTS AND MODULES  
FOR COMPUTER-INTEGRATED PRODUCTION TECHNOLOGICAL  
PREPARATION SYSTEMS .....143

<b>Kalinovsky Ya.A., Boiarinova Yu.E.</b> CONSTRUCTION OF EFFECTIVE ALGORITHMS FOR SOLVING SYSTEMS OF ISOMORPHISM EQUATIONS FOR HYPERCOMPLEX NUMBER SYSTEMS USING EXPONENTIAL REPRESENTATION .....	<b>148</b>
<b>Kuvaeva V.Y., Boltenev V.A., Pozniak A.V.</b> PRE-PROCESSING OF EXPERT INFORMATION IN AGGREGATED CONSENSUS RANKING FORMATION.....	<b>155</b>
<b>Kuzma K.T.</b> ANALYSIS OF THE METHODS OF VERIFICATION THE ANSWER IN TESTING SYSTEMS, SUBMITTED IN A TEXT FORM .....	<b>163</b>
<b>Kupyn A.Y., Muzyka Y.O., Senko A.A., Kovalenko K.A., Mysko B.S.</b> THE GENERALIZED STRUCTURE OF THE PREDICTING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM ORE BENEFICATION FOR STABILIZATION OF MINING COMPLEX QUALITY INDICATORS .....	<b>168</b>
<b>Lobov V.I., Lobova K.V., Mahdych B.V.</b> TASK OF THE AUTOMATION SYSTEM CREATION FOR VERIFICATION STUDENT WORKS FOR PLAGIARISM FOR A GIVEN SUBJECT AREA .....	<b>174</b>
<b>Mahdych B.V.</b> TASK OF THE AUTOMATION SYSTEM CREATION FOR VERIFICATION STUDENT WORKS FOR PLAGIARISM FOR A GIVEN SUBJECT AREA .....	<b>180</b>
<b>Medushevskiy S.V.</b> DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND PRINCIPLES FOR THE COMPLEX FORMATION AND QUALITY EVALUATION OF THE VALIDATION DOCUMENTATION PACKAGE OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM .....	<b>185</b>
<b>Mnatsakanian V.H., Mnatsakanian M.S.</b> ECOLOGICAL SAFETY OF TRANSPORT SYSTEMS OF THE INDUSTRIAL CENTER BASED ON THE METHODS OF IMITATION MODELING .....	<b>191</b>
<b>Nevliudov I.Sh., Khrustalov K.L., Funkendorf A.O.</b> MATHEMATICAL MODEL OF ROBOTS WITH MODULAR TYPE CONSTRUCTION COMPOSITION TECHNOLOGICAL PROCESS .....	<b>197</b>
<b>Nevliudov I.Sh., Ponomarova H.V., Bortnikova V.O.</b> MEM ACCELEROMETERS PRODUCTION TECHNOLOGICAL PROCESS SIMULATION .....	<b>204</b>



# ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 658.512.2

*Бердинських С.О.*

Національна академія мистецтв України

## БІНОКУЛЯРНІСТЬ ТА АНІМАЦІЯ ЯК ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОЕКТОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Стаття присвячена новітнім, заснованим на принципі паралаксу засобам візуалізації просторових властивостей об'єктів. Зокрема, розглядається ефективність застосування стереоскопічної картини та анімації в колі завдань проектної графіки. Запропоновано процедури побудови бінокулярних глибинно-просторових зображень на базі їх тривимірної (3d-) моделі. Розроблено алгоритми створення стереоскопічної ілюзії простору способом комп'ютерної трансформації й деформації рисунків, виконаних традиційними графічними техніками. Експериментально досліджено реалізацію запропонованих сценаріїв за допомогою сучасних комп'ютерних програм.*

**Ключові слова:** *проектна графіка, графічні засоби моделювання, стереоскопічне зображення, бінокулярний паралакс, паралакс руху, просторова структура зображення.*

**Постановка проблеми.** Останніми десятиліттями комп'ютерні технології вивели розвиток проектної графіки на якісно новий рівень, давши користувачеві новий спектр засобів побудови зображень. Натомість усталені прийоми та методики традиційної образотворчої культури не втратили своєї актуальності, а, синтезувавшись із сучасним цифровим арсеналом формоутворення, оновили базу графічного інструментарію дизайнера. Вивчення проектної графіки як інструмента моделювання об'єктивних властивостей проєтованих форм сьогодні потребує комплексного об'єднання різних підходів до побудови графічних моделей. Одним із актуальних питань у цьому напрямі є дослідження нових форм передачі ілюзії просторовості зображеного.

Тема роботи пов'язана з важливими науковими та практичними завданнями в контексті дослідження методів і засобів створення властивостей об'єктів дизайну, що визначають їх естетичні, функціональні та інші характеристики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед джерел, що стосується цієї проблеми, варто розглянути роботи, в яких детально описуються алгоритми використання бінокулярного пара-

лаксу та паралаксу руху в різноманітних прикладних завданнях. Зокрема, створенню ефекту стереоскопічності на прикладі фотографій присвячена публікація «Создание стереоскопических снимков одним объективом» [6]. Алгоритм побудови стереоскопічного зображення аналіфічним способом за допомогою програми Adobe Photoshop описано в публікації «Создать стерео 3D-изображение в Photoshop» [7]. У статті «Монокулярные признаки восприятия глубины» детально проаналізовано феномен паралаксу руху.

Однак виявлено, що джерела, присвячені застосуванню новітніх засобів моделювання просторових властивостей об'єктів у проектних завданнях, сьогодні відсутні.

Грунтовніший аналіз теми потребує залучення знань про традиційні засоби моделювання просторових властивостей зображених предметів, які містяться у джерелах з теорії композиції, психології сприйняття, теорії передачі інформації. Відтак у роботі К. Зайцева («Графика и архитектурное творчество») [3], яка ґрунтовно висвітлює усталені способи використання традиційної рукотворної проектної графіки, розглядаються можливості й методи творчого застосування класичних засо-

бів, прийомів (у тому числі передачі глибинного простору) і матеріалів графічного мистецтва щодо зображувальних завдань архітектурного проектування. Розгляду питань раціональності використання засобів графічного моделювання в широкому колі завдань передачі інформації присвячена робота відомого американського художника-графіка У. Боумена («Графическое представление информации») [2]. Питань сприйняття зорових образів, у тому числі їх глибинно-просторових властивостей, торкається робота Р. Арнхейма («Искусство и визуальное восприятие») [1].

**Постановка завдання.** Метою роботи є виявлення ефективності застосування новітніх (на основі паралаксу) прийомів моделювання просторових властивостей форми в зображувальних завданнях проектної практики, а також розроблення сценаріїв реалізації цих прийомів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Учені виявили, що людина здатна сприймати тривимірні об'єкти на основі двох факторів: природних (заснованих на використанні бінокулярного зору) і другорядних, або емпіричних, завдяки яким робить висновок про об'ємність певного предмета за непрямими ознаками, такими як відстань до предмета, його розміри, порядок накладення різних об'єктів один на один, світлотінь, ідіома перспективи, різниця в різкості тощо [1; 2]. Другорядні фактори доступні як при бінокулярному, так і при монокулярному зорі, завдяки чому вони застосовуються в традиційних засобах зображення, стандартних двовимірних пристроях відображення інформації, наприклад, у моніторах. Розвиток технологій викликав появу засобів зображень, які створюють у спостерігача ілюзію тривимірності зображеного, максимально наближену до реального сприйняття. Одні з таких зображень будуються за принципами стереоскопічності або бінокулярності.

Стереоскопічним є зображення, що видається спостерігачеві об'ємним (тривимірним) унаслідок злиття в єдиний зоровий образ двох площинних зображень стереопари, що розглядаються окремо кожним оком. Кожне з двох зображень стереопари є центром, проекцією об'єкта (отриманою, наприклад, фотографуванням) з правої й лівої точок зору, рознесених по горизонталі на деяку відстань, що називається стереобазисом. Зображення об'єкта, отримане з правої точки, має розглядатися правим оком, а зображення, отримане з лівої точки, – лівим [8].

Оскільки праве й ліве зображення пари є різними ракурсами об'єкта, то при оптичному накла-

денні одне на одне вони суміщаються не повністю, зображення рівновіддалених точок об'єкта виявляються зміщеними вправо чи вліво одне від одного, утворюючи горизонтальний лінійний паралакс. Величина паралакса залежить від віддаленості певної точки зображення. Якщо точка правої зображення в площині суміщення опиняється правіше лівої зображення цієї точки, то паралакс вважається додатним і просторове положення суміщеного образу цієї точки в стереоскопічному зображенні буде здаватися розміщеним за площиною суміщення. Навпаки, якщо точка правої зображення розташована лівіше лівої точки лівої зображення, то паралакс вважається від'ємним і суміщене зображення точки лежить ніби перед площиною суміщення; коли паралакс точки дорівнює нулю, тобто при накладанні точки збігаються, суміщений образ формується в площині зображення [8].

Оптичне накладення один на один правої й лівої зображень стереопари здійснюється селективною проекцією або друком цих зображень, який дає змогу одночасно через спеціальні фільтри виділити кожне зображення із «суміші» для кожного ока окремо. Залежно від способів фільтрації зображень розрізняють такі способи відтворення стереозображень: окулярні – анагліфічний, поляризаційний, екліпсний; безокулярні (растрові) – одностереопарні та багаторакурсні [8].

В анагліфічному методі відтворення стереозображень використовується спектральна сепарація зображень стереопари. Анагліфічне зображення є комбінацією малюнків на одній поверхні, де в червоному каналі зображена картина для лівого ока (правий не бачить її через наявність світлофільтра), а в блакитному – для правої (відповідно, її не бачить ліве око). Словом, кожне око сприймає своє зображення, пофарбоване в колір, протилежний світлофільтру скла окулярів.

Отже, для отримання ефекту необхідно використовувати анагліфічні окуляри, в яких скло замінюється світлофільтрами: червоним – для лівого ока і блакитним – для правої. Уважається, що цим методом добре працювати з монохромними зображеннями [8].

Існує практика створення стереоскопічних фотографій за допомогою одного об'єктива [6]. Так, за допомогою пересування камери на 65 міліметрів убік можна отримати два зображення, які відповідають зображенням, що проєкціюються, відповідно, для лівого і правої ока. Очевидно, що стереоскопічні знімки одним об'єктивом можна робити лише з нерухомих предметів.

Без сумніву, в аналогічний спосіб можна отримати дві проекції з тривимірної моделі сцени. Для цього треба після отримання проекції першого зображення змістити камеру горизонтально вбік, перпендикулярно напрямку зору на відстань, яка в умовному масштабі дорівнює відстані між лівим і правим оком спостерігача (65 мм).

Далі для перетворення цих зображень в анагліфічне стереоскопічне зображення можна використовувати програму Adobe Photoshop [7]. Для цього відкриваємо створену пару зображень у цій програмі. Перше зображення, яке відповідає правому оку, дублюємо (Duplicate layer), змінюємо назву створеного нового шару в «правий-блакитний». Друге зображення, яке відповідає лівому оку, виділяємо повністю (Select all), затим копіюємо і вставляємо в перше зображення. Унесені зображення автоматично буде належати до новоствореного шару, який перейменуємо в «лівий-червоний». Після цього вимкнемо видимість фонового шару.

Оскільки червона лінза дає можливість бачити лише в червоному каналі, варто відключити зелений і синій канали для шару «лівий-червоний». Для цього у вікні з параметрами накладення цього шару (Bending options) деактивуємо канали G і B.

Через те що праве око буде в змозі бачити тільки зелений і блакитний канали через блакитну лінзу, потрібно деактивувати червоний канал для шару «правий-блакитний».

Однак зображення ще не готове, оскільки центр зображення не суміщений. Це можна виправити за допомогою інструмента «пересування» (Move tool). Потрібно змістити шари горизонтально, відповідно, вправо і вліво так, щоб центр суміщення, що відповідає нульовому паралаксу, перебував у певній точці зображення. Центром суміщення обираємо найвіддаленішу видиму точку зображення. Отже, при бінокулярному спостереженні зображення буде ілюзорно перебувати перед площиною монітора. Далі обрізаємо правий і лівий краї картини за допомогою інструмента «Обрізання» (Crop tool). Тепер за допомогою анагліфічних окулярів можна спостерігати ілюзію об'ємності створеного зображення (рис. 1 а).

Цікаво, що принцип бінокулярності можна використовувати для побудови багатопланового простору, при чому в цьому разі нема необхідності використовувати програми тривимірного моделювання. Як вихідний варіант можна використати зображення, створене засобами традиційної графіки. Але бажано, щоб частини зображення, які відповідають різним планам глибини,

були створені так, щоб вони незалежно один від одного могли редагуватися.

Розглянемо приклад побудови багатопланового зображення. Як вихідний варіант використаємо зображення (рис. 1 б), створене повторенням одного елемента. Зображення створене у програмі Adobe Photoshop так, що кожен його елемент (лінія) належить до різних шарів. Завдяки взаємному накладенню елементів (оверлепінг) зображення здається нам як таке, що має три плани за глибиною. За допомогою стереоефекту посилимо цю ілюзію, завдяки чому перший план буде здаватися розміщеним перед площиною зображення, другий – у площині зображення, а третій – за площиною зображення (рис. 1 в).

Об'єднаємо елементи зображення в шари так, щоб їх кількість і назва відповідали багатоплановій структурі зображення. Для цього зв'яжемо шари, що належать до одного плану, й функцію об'єднання (Merge linked). Отже, маємо чотири шари з назвами «перший план», «другий

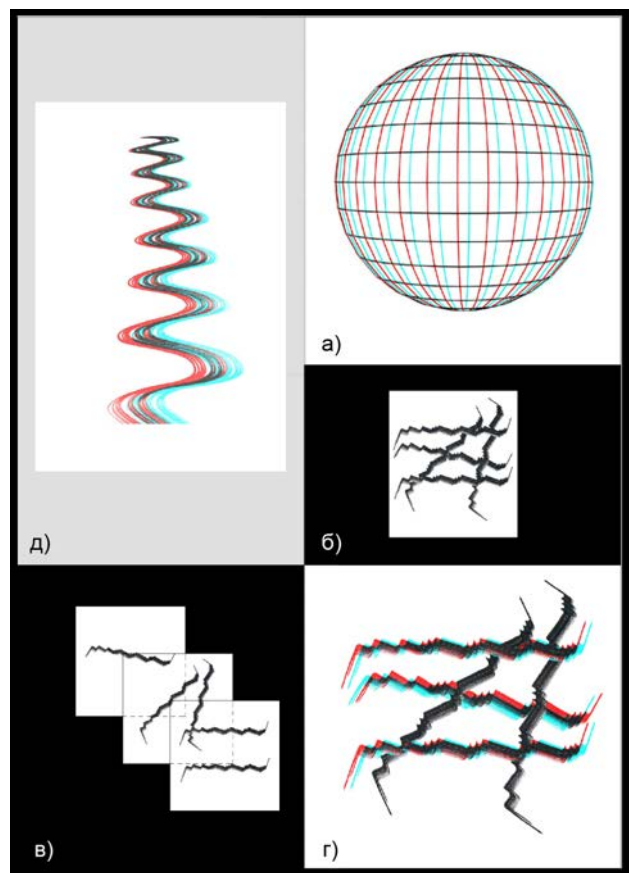


Рис. 1. Різновиди бінокулярних зображень, створені за допомогою використання комп'ютерних програм: а) на основі 3d-моделі; г) на основі декомпозиції площинного зображення (б) на складові (в); д) на основі трансформації площинного зображення

план», «третій план» і шар з фоном зображення (Background). Далі, щоб положення елементів першого плану при бінокулярному сприйнятті здавалося перед площиною зображення, необхідно створити від'ємний паралакс. Відповідно, для зображення третього плану паралакс буде додатнім.

Дублюємо шар з назвою «перший план» і шар з назвою «третій план». Перейменовуємо копію шару «перший план» на «перший план (ПБ)», тобто скорочено – правий, блакитний, а сам шар «перший план» – у «перший план (ЛЧ)», тобто лівий, червоний. Аналогічно, копію шару «третій план» перейменовуємо у «третій план (ПБ)», а шар «третій план» – у «третій план (ЛЧ)». Для шарів, які мають у назві скорочення «ПБ», у вікні з параметрами накладення шару (Bending options) вимикаємо канал R, тоді як для шарів зі скороченням «ЛЧ» вимкнемо канали G і B.

Щоб створити від'ємний паралакс для першого плану, потрібно, щоб праве зображення при суміщенні знаходилося лівіше лівого зображення. Отже, шар під назвою «перший план (ПБ)» переміщуємо горизонтально вліво на певну відстань. Відповідно, для створення додатного паралаксу третього плану шар «третій план (ПБ)» переміщуємо горизонтально праворуч на деяку відстань (рис. 1 г). Варто сказати, що від величини відстані зміщення буде залежати глибина ілюзорного наближення або віддалення зображеного об'єкта. Кінцевий результат можна спостерігати, використовуючи анагліфічні окуляри.

У двовимірних растрових редакторах можна також створювати деякі нескладні бінокулярні зображення з ілюзією безперервного глибинного простору, зокрема такі, що складаються з невеликої кількості площин. Цю процедуру не варто детально описувати, оскільки вона має певну аналогію з попередніми, а зробимо акцент лише на принципових моментах. Так, для створення стереопари зображення площини, що показана в перспективній проекції, варто її деформувати так, щоб точки, які перебувають на умовній відстані, мали більше значення горизонтального паралаксу, ніж точки, які умовно перебувають ближче до глядача. Для цього можна використовувати інструмент «Перспектива» (Perspective) (рис. 1 д), горизонтально перетягнувши верхню лінію рамки в потрібний бік.

Інший ефективний засіб моделювання просторових властивостей зображених об'єктів – анімація, яку почали активно впроваджувати в проектну практику з розвитком комп'ютерних технологій.

Анімація – це створення зорової ілюзії руху, зміни будь-чого в часі, технологія, що дає змогу за допомогою неживих, нерухомих об'єктів створювати ілюзію руху. Ефект анімації базується на деяких особливостях зору людини, а саме:

- слід від побаченого зображення зберігається певний час на сітківці ока людини;
- людині властива здатність об'єднувати зображення, що швидко змінюються одне на інше, в єдиний зоровий ряд, котрий дає ілюзію безперервності руху.

Відомі сьогодні технології комп'ютерної анімації поділяють на два класи: 2D- та 3D-анімація. 2D-анімація зазвичай передбачає переміщення, накладення в певній послідовності зображень. Сутність 3D-анімації полягає у використанні тривимірних моделей об'єктів просторових сцен і їх відображенні методами 3D-графіки. Більшість спеціалізованих програм, спрямованих на розроблення та візуалізацію моделей об'єктів архітектурного і промислового дизайну, а також програми тривимірного моделювання, дають можливість створювати 3D-анімацію об'єкта. 3D-анімація може бути репрезентована як задана послідовність кадрів, у вигляді відеоролика, а також у режимі, коли зміною ракурсу інтерактивно керує користувач (аналогічно до відеоігор).

У сучасній графіці існує велика кількість методів анімації. Обраний метод буде залежати від того, яку саме властивість зображеного об'єкта потрібно виявити. Так, за допомогою анімації можна:

- виявити просторову форму об'єкта, змінюючи його ракурс;
- показати принцип роботи механічного об'єкта;
- показати процес, явище, наприклад, зміну освітлення;
- показати складні деформації об'єкта, що застосовуються, скажімо, для моделювання руху живих об'єктів.

Для моделювання просторових властивостей проєктованих об'єктів методи анімації відносно прості, а обраний метод буде залежати насамперед від будови самого об'єкта. Отже, пізнання будь-якого просторового об'єкта в реальності – це активний динамічний процес, заснований на спогляданні цього об'єкта з різних ракурсів. Анімація наближає умови сприйняття зображеного об'єкта до умов реального сприйняття.

Як відомо, форма об'єкта може визначатися як об'ємно-просторова, глибинно-просторова

композиція чи фронтальна композиція. Якщо об'єкт є складною за об'ємною будовою формою, то, використовуючи анімацію обертання об'єкта навколо певної осі простору, можна за короткий час отримати інформацію й уявлення про його просторовий образ. Як відомо, глибинно-просторова будова об'єкта пізнається в процесі руху спостерігача в напрямку основних композиційних осей. Тому для анімації глибинно-просторових композицій варто використовувати рух камери в основних напрямках. Стосовно будови графічної площини, то вона, як відомо, за способом організації ілюзорного глибинного простору буває площинною, багатоплановою та безперечною. Один із засобів передачі глибинного простору на графічній площині – використання монокулярного паралаксу руху. Це явище пов'язане з тим, що коли очі спостерігача рухаються відносно зовнішнього оточення чи коли оточення рухається відносно очей спостерігача, то виникає різна кутова швидкість між лінією зору, спрямованою на фіксований об'єкт, і лінією зору, спрямованою на будь-який інший об'єкт у полі зору. Факт різної кутової швидкості веде до просторового розрізнення, пов'язаного з тим, що близько розміщений об'єкт немов рухається проти напрямку руху, а дальній об'єкт немов рухається за напрямком руху спостерігача [5]. Прикладом може бути ситуація спостереження ландшафту з вікна вагона потяга, що рухається. Якщо при цьому дивитись на будь-який предмет, то весь видимий простір наче обертається навколо цього предмета.

Паралакс руху використовується як засіб створення зорової ілюзії глибини зображення [4]. Для цього достатньо лише візуалізувати декілька кадрів з різних ракурсів, які дадуть у процесі анімації невеликий поворот зображення. Анімована картинка виглядає як результат спостереження за об'єктом таким чином, що положення точки спостерігача постійно коливається з боку в бік. Паралакс руху, який при цьому виникає, значно посилює сприйняття ілюзії глибини зображеного.

Для побудови такого анімованого зображення не обов'язково використовувати 3D-анімацію. Цікавий ефект можна отримати, якщо скористатись сканованим зображенням, створеним традиційними техніками. Використовуючи можливості растрового редактора Adobe Photoshop, а саме за допомогою інструментів трансформації зображення, можна створити ракурс, що відповідає трохи зміненій точці спостереження (спосіб створення такого ракурсу описаний вище в досліді з побудови стереопари). Потім створюється певна кількість проміжних кадрів, які потрібні для того, щоб забезпечити ілюзію безперервності руху. Потім на основі цих кадрів створюється відеоряд із циклічним повторенням. Зазначимо, що для всіх цих операцій достатньо програмних можливостей Adobe Photoshop.

**Висновки.** Паралакс – ефективний засіб вираження багатопланової та глибинної структури графічного простору, при якому можна змінювати ілюзорну відстань до зображених об'єктів:

– оперуючи швидкістю й напрямком руху об'єктів у площині при використанні анімації (паралакс руху);

– оперуючи горизонтальною відстанню між зображеннями стереопари в разі використання бінокулярності.

Описані технології створення тривимірності можуть бути додатковим засобом виявлення композиційного та образного змісту зображення, організації глибинної структури простору, а також посилювати просторові властивості зображених об'єктів, наочність, змістовність, виразність та об'єктивність сприйняття зображених форм поряд із застосуванням традиційних засобів передачі глибини (відстань до предмета, його розміри, порядок накладення різних об'єктів один на один, світлотінь, ідіома перспективи, різниця в різкості тощо).

Перспективи подальших досліджень. Проведені в роботі дослідження можуть бути використані з метою створення систематизованої методики застосування засобів проектно-графіки у формотворчому процесі.

#### Список літератури:

1. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / пер. с англ. Москва, 1974. 392 с.
2. Боумен У. Графическое представление информации / пер. с англ. Москва, 1971. 225 с.
3. Зайцев К.Г. Графика и архитектурное творчество. Москва, 1979. 160 с.
4. Иллюзии восприятия глубины. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Факультет психологии. URL: <http://www.psy.msu.ru/illusion/depth.html> (дата звернення: 18.01.15).
5. Монокулярные признаки восприятия глубины. Мир психологии. URL: <http://www.psyworld.info/monokulyarnye-priznaki-glubiny> (дата звернення: 18.01.15).
6. Создание стереоскопических снимков одним объективом. История фотографии. URL: <http://ilonz.ru/Создание-стереоскопических-снимков/> (дата звернення: 18.01.15).

7. Создать стерео 3D-изображение в Photoshop. Rugraphics.ru. URL: <http://rugraphics.ru/photoshop/sozdayom-sterео-izobrazhenie-v-photoshop> (дата звернення: 18.01.15).

8. Физический энциклопедический словарь / главный редактор А.М. Прохоров. Москва, 1983. 944 с.

### **БИНОКУЛЯРНОСТЬ И АНИМАЦИЯ КАК СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СВОЙСТВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Работа посвящена новейшим, основанным на принципе параллакса средствам визуализации пространственных свойств объектов. В частности, рассматривается эффективность применения стереоскопической картины и анимации в кругу задач проектной графики. Предложены процедуры построения бинокулярных глубинно-пространственных изображений на базе их трехмерной (3d-) модели. Разработаны алгоритмы создания стереоскопической иллюзии пространства способом компьютерной трансформации и деформации рисунков, выполненных традиционными графическими техниками. Экспериментально исследовано реализацию предложенных сценариев с помощью современных компьютерных программ.*

**Ключевые слова:** проектная графика, графические средства моделирования, стереоскопическое изображение, бинокулярный параллакс, параллакс движения, пространственная структура изображения.

### **BINOCULARITY AND ANIMATION AS A MEANS OF MODELING THE SPATIAL PROPERTIES OF PROJECTED OBJECTS**

*The work is devoted to the latest, based on the principle of parallax, means of visualizing the spatial properties of objects. In particular, the effectiveness of the use of stereoscopic picture and animation in the range of tasks of the project schedule is considered. The procedure for constructing binocular depth-spatial images based on their three-dimensional (3d-) model is proposed. The algorithms for creation of stereoscopic illusion of space by the method of computer transformation and deformation of drawings, executed by traditional graphic techniques are developed. The implementation of the proposed scenarios with the help of modern computer programs is explored experimentally.*

**Key words:** project graphics, graphic means of modeling, stereoscopic image, binocular parallax, parallax of motion, spatial structure of the image.

# ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.923.42

*Литвин О.О.*

Чернігівський національний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ДЕТАЛЕЙ ІЗ РІЗНИМИ ДІАМЕТРАМИ

*Запропоновано тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення під час двостороннього шліфування торців штовхачів із різними діаметрами, що не обертаються в процесі шліфування. Обробка деталей виконується орієнтованими профільованими шліфувальними кругами. Деталі перебувають у зоні обробки в парній кількості для урівноваження дії сил різання.*

**Ключові слова:** шліфування, різні діаметри торців деталей, орієнтовані шліфувальні круги, калібруючі ділянки.

**Постановка проблеми.** У машинобудуванні широко використовуються деталі з високоточними торцевими поверхнями, а саме: штовхачі, клапани, пальці, стержні та ін. Параметри точності й якості оброблення відповідальних деталей традиційно формуються під час шліфування та потребують високих показників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Двостороннє торцеве шліфування деталей кругами з калібруючими ділянками [1; 2] забезпечує зняття припуску за один прохід. Шліфувальні круги орієнтують залежно від припуску, що знімається, водночас калібруючі ділянки не беруть участі в знятті чорнового припуску. Це підвищує точність і продуктивність обробки. Не досліджено вплив орієнтації деталей на геометричну точність формоутворення деталей із торцями різного діаметра. Патент RU 2 417 148 С2 Російська Федерація, МПК, В24В 1/00, В24В 19/00, спосіб шліфування стрижневидних деталей, що обробляються, шліфувальний верстат (варіанти) і шліфувальна секція спареного розташування / Г. Хіммельсбах (DE), Х. Мюллер (DE); опубл. 27 квітня 2011 р. у Бюл. № 12, за яким оброблюються деталі некруглого поперечного перерізу, що утворені рівними та/або дугоподібними лініями, та плоскі, проходячи паралельно одна до одної торцеві сторони, а також до шліфувального верстата (варіанти) і шліфувальної секції спареного розташування.

Провідна фірма Saturn (Німеччина) [3] виконує обробку деталей різноманітної форми на двосторонніх торцешліфувальних верстатах спареними кругами. У даній роботі не наведено дослідження впливу орієнтації деталей із круглим профілем щодо напрямку подачі на точність їх формоутворення під час оброблення за роторною та маятниковою схемами деталей із торцями різного діаметра.

У роботі [4] розроблені ефективні шліфувальні круги, відпрацьована технологія двостороннього шліфування багатогранних пластин із твердих сплавів і ріжучої кераміки. Виявлено, що для досягнення однакової шорсткості поверхонь пластин верхній круг необхідно виконувати із зернистістю алмазів на один пункт менше. Але не зазначений вплив орієнтації деталі щодо напрямку подачі на точність формоутворення деталей із торцями різного діаметра.

У праці [5] наведено розрахунок поточної координати обробки під час двостороннього торцевого шліфування. Виявлено, що для зменшення торцевого биття потрібно забезпечити обертання деталі в процесі оброблення. У роботі розглядаються тільки деталі з круглим профілем.

У роботі [6] досліджено двостороннє торцеве шліфування деталей із круглими торцевими поверхнями, обробка відбувається орієнтованими шліфувальними кругами. Досліджено точність формоутворення поверхонь, продуктивність обробки, знос шліфувальних кругів. Відсутні дослідження

впливу орієнтації деталі щодо напрямку подачі на точність формоутворення торцевих поверхонь деталей із торцями різного діаметра.

У роботі [7] досліджено процес шліфування торцевих поверхонь деталей алмазними кругами на заточувальних верстатах. Проведено оптимізацію режимів різання для забезпечення початку шліфування з периферії, водночас шліфувальний круг необхідно повертати за годинниковою стрілкою на невеликий кут. Відсутні дослідження впливу кута орієнтації шліфувального круга на геометричну похибку формоутворення деталей із торцями різного діаметра.

У роботі [8] розроблена загальна модель шліфування деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах орієнтованими профільованими кругами, наведено розрахунок продуктивності оброблення, досліджено вплив орієнтації шліфувальних кругів на торцеве биття. Але не розглядається вплив орієнтації деталі щодо напрямку подачі на точність формоутворення її торцевої поверхні. Досліджено процес двостороннього торцевого шліфування хрестовин карданних валів. Але не досліджено вплив величини припуску, що знімається, та профілювання кругів на геометричну похибку формоутворення деталей із торцями різного діаметра.

Автором [9] розроблено переривчастий шліфувальний круг для роторної схеми оброблення, який складається з елементів, що кріпляться на металевому диску для обробки твердосплавних і керамічних пластин. Для попередження ударів і сколювання керамічних пластин алмазні сегменти на найбільшому діаметрі встановлюються під кутом  $5...8^\circ$ . Досліджено оптимальні режими різання під час оброблення керамічних і твердосплавних пластин. Але не досліджено вплив орієнтації деталей із некруглим профілем щодо напрямку подачі на точність формоутворення торцевих поверхонь деталей із торцями різного діаметра.

Двостороннє торцеве шліфування деталей кругами з калібруючими ділянками [10; 11] забезпечує зняття припуску за один прохід. Шліфувальні круги орієнтують залежно від припуску, що знімається, водночас калібруючі ділянки не беруть участі в знятті чорнового припуску. Це підвищує точність та продуктивність оброблення. Не досліджено вплив орієнтації деталі з некруглим профілем щодо напрямку подачі на геометричну точність формоутворення деталей із торцями різного діаметра.

Обробка кінцевих мір виконується на плоскошліфувальних верстатах, фіксування деталей здійснюється на магнітних плитах, що потребує

переустанови деталей та їх розмагнічування і, як наслідок, зменшує продуктивність обробки. Не досліджено вплив фіксації деталей із торцями різного діаметра в барабані подачі.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Відомі способи шліфування торцевих поверхонь циліндричних деталей із круглим профілем і торцями різного діаметра, фіксація яких в осьовому напрямку відбувається торцями кругів. За різного припуску на обробку з обох боків деталі відбувається її переміщення в осьовому напрямку під дією сил різання до їх вирівнювання. Але відсутні дослідження впливу кутової орієнтації деталей із різними діаметрами торців щодо напрямку подачі на точність формоутворення їх поверхонь. Під час оброблення штовхачів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах їхню фіксацію здійснюють в кутовому та осьовому напрямках. Але відсутні дослідження впливу способу фіксації штовхачів в осьовому напрямку на точність формоутворення та симетричність їхніх торцевих поверхонь деталей із торцями різного діаметра.

**Постановка завдання.** Метою роботи є підвищення ефективності шліфування торців деталей завдяки розробленню теоретичних основ процесу шліфування торців деталей орієнтацією їх і профільованих кругів як бази для створення нових способів їх оброблення, способів підвищення продуктивності та точності оброблення торцевих поверхонь деталей різних діаметрів шліфувальними кругами із плоскими торцевими поверхнями.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вищезгадана мета досягається тим, що під час оброблення торців різних діаметрів деталі в барабані подачі встановлюються більшим і меншим діаметром почергово. А також тим, що деталі не обертаються навколо своїх осей під час оброблення.

Розрахункову схему процесу двостороннього шліфування торців штовхачів різного діаметра в барабані подачі зображено на рис. 1: 1 – барабан подачі; 2 – посадочний отвір заготовки; 3, 4 – орієнтовані шліфувальні круги, які можуть бути повернуті щодо вертикальної ХШК осі на кути  $\psi$  та за горизонтальною віссю УШК на кути  $\varphi$ , з калібруючими ділянками 10, рівними діаметру більшого діаметра заготовки, що правляться алмазними олівцями 8, розташованими на барабані подачі, що обертається навколо своєї осі й утворює ділянки на кругах, паралельні торцям заготовок; 5 – оброблювані заготовки, які обертаються навколо своїх осей у процесі обробки від крутного моменту шліфувальних кругів;



6, 7 – відповідно ліва та права бабки шліфувального станка; 9 – алмазний олівець для правлення плоских ділянок шліфувальних кругів, які перпендикулярні до осей їх обертання, який рухається за радіусом  $R_{П}$  на кут  $\theta_{ПК}$  щодо осі  $Z_{ПК}$ , початок координат якої розташований у точці  $O_{ПК}$ ; 11 – регульована опора бабки шліфувального верстата із центром у точці  $O_C$ .

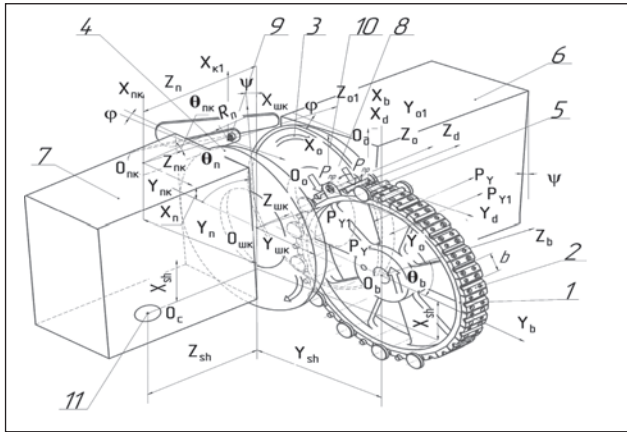


Рис. 1. Розрахункова схема формоутворення торців деталей різних діаметрів із розташуванням їх у барабані подачі

Під час оброблення торців заготовок, що обертаються в процесі шліфування і базуються в отворах барабана подачі із зазором (рис. 3), виникає неперпендикулярність торця до осі деталі. Тому під час оброблення ці  $L/d = (0,8 - 3) d$  деталей прийнято базувати їх беззазорно, як показано на рис. 2. Перед обробкою деталей із торцями різних діаметрів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах спочатку визначається величина припуску, що знімається під час шліфування. Якщо припуск невеликий, то доцільно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок [1]. У разі оброблення деталей зі зняттям великих припусків, обробка здійснюється орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок з одностороннім розташуванням торців одного діаметра [13], якщо похибка на торці більшого діаметра не більше допустимої. Для забезпечення оброблення деталей за один прохід та необхідної точності роботи, на масовому виробництві використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Якщо даний спосіб не забезпечує необхідної точності, потрібно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками й орієнтацією деталей по чергово меншим і більшим діаметром, кіль-

кість деталей у зоні оброблення має бути парною для забезпечення точності формоутворення, продуктивності й ефективності операції. Розрахунок точності формоутворення деталей здійснюється за програмою універсальної моделі точності формоутворення деталей із торцями різних діаметрів.

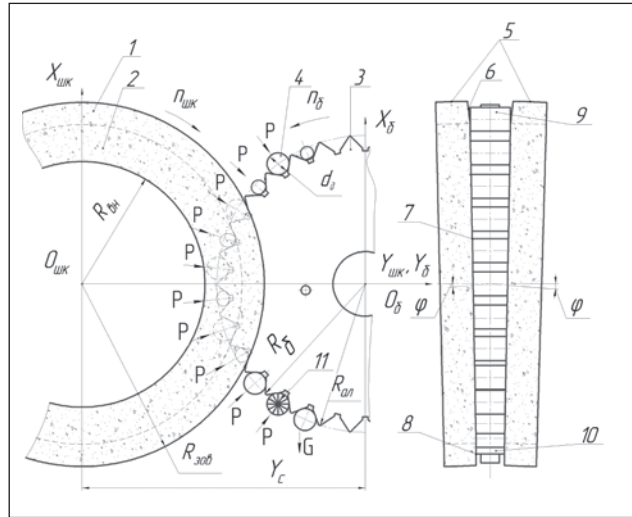


Рис. 2. Схема обробки деталей, що не обертаються

На рис. 3 показано схему для визначення перекосу деталі в отворі барабана подачі під час шліфування. Як видно зі схеми, навіть невеликі значення  $\Delta$  призводять до погіршення паралельності торців оброблювальних заготовок щодо їх базування.

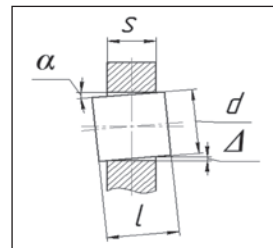


Рис. 3. Схема визначення перекосу деталі в отворі барабана подачі під час шліфування

**Висновки.** Проведено дослідження процесу шліфування торців різного діаметра штовхачів, способу кріплення, вплив способу фіксації штовхачів у барабані подачі виробів. Запропоновано розташовувати кріплення деталей у барабані подачі виробів по чергово, установлюючи менший і більший діаметри, що дозволить забезпечити високу точність формоутворення, продуктивність і ефективність оброблення деталей. Це дозволить створювати нові високоефективні технології та методи шліфування торців деталей із різним діаметром торців, а також впроваджувати їх у виробничі процеси.

**Список літератури:**

1. Венжега В. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Харків, 2009. 214 с.
2. Грабченко А., Кальченко В., Кальченко В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография. Издание 2-е, дополненное. Чернигов: ЧНТУ, 2015. 504 с.
3. Saturn. Mechanical grinding twin grinding wheels: Prospect firm "Junker maschinen" / Erwin Junker: Maschinen fabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany, 2005. 8 с.
4. Лавриненко В., Лещук И. Технология финишного двустороннего шлифования опорных поверхностей многогранных пластин. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: зб. наук. праць. Одеса: ОНПУ, 2014. Вип. 2 (7). С. 93–96.
5. Вайнер Л., Шахновский С. Рациональная форма рабочей зоны при двустороннем шлифовании торцов цилиндрических роликов. Обработка резанием. 1984. № 1. С. 1–5.
6. Пасов Г. Повышение точности шлифования торцов за счет ориентации профилированного круга и учета его текущего износа: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Харьков, 2000. 19 с.
7. Кальченко В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Харків. 1998. 142 с.
8. Польшаков В. Теоретические и практические основы высокопроизводительного торцевого шлифования тяжело обрабатываемых материалов: автореф. дисс. ... д. техн. наук. Киев. 1998. 33 с.
9. Музичка Д. Підвищення ефективності шліфування твердих сплавів спрямованим обмеженням форми різальної поверхні шліфувальних кругів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти». Чернігів. 2015. 20 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ ТОЛКАТЕЛЕЙ С РАЗНЫМИ ДИАМЕТРАМИ**

*Предложено трехмерное геометрическое моделирование инструментов, процесса снятия припуска и формообразования при двустороннем шлифовании торцов толкателей с разными диаметрами, которые не вращаются во время шлифования. Обработка деталей выполняется ориентированными профилированными шлифовальными кругами. Детали находятся в зоне обработки в четном количестве для уравновешивания действия сил резания.*

**Ключевые слова:** *шлифование, разные диаметры торцов деталей, ориентированные шлифовальные круги, калибрующие участки.*

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DOUBLE-SIDED GRINDING OF TORCHES OF PUSHERS WITH DIFFERENT DIAMETERS**

*The three-dimensional geometric modeling of the instruments, the process of removing the abutment and shaping of the two-sided grinding of the pusher blades with different diameters of parts and circles with non-rotating parts during grinding is proposed. The machining of parts is done by oriented profiled grinding wheels. The details are in the processing area in a pair of quantities to balance the effect of cutting forces.*

**Key words:** *grinding, various diameters of ends of parts, oriented grinding wheels, calibrating sections.*

# АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 614.2

*Азаров І.С.*

Національний авіаційний університет

*Сидоренко В.Л.*

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту

*Задунай О.С.*

Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

*В огляді вітчизняної та зарубіжної літератури подано короткі дані про історію виникнення й ефективність застосування безпілотних повітряних літальних апаратів, а також деякі особливості їх використання в найбільш розвинених країнах світу.*

***Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, екстрена позалікарняна медична допомога, надзвичайна ситуація.*

**Постановка проблеми.** Безпілотні або дистанційно керовані апарати авіаційного, морського й наземного базування, безумовно, здатні виконувати завдання автоматично, без присутності людини, позбавляючи людей необхідності перебувати в небезпечних умовах, здійснювати нудну монотонну роботу, що вимагає, проте, певних навичок і концентрації уваги при підвищеній ціні помилки, викликаній «людським фактором». Комплекси з повітряними безпілотними літальними апаратами (далі – БПЛА) сьогодні набули найбільшого поширення у військовій сфері для забезпечення безпеки й оборони. Стимулом до розвитку безпіотної авіації в усьому світі послугувала потреба в легких, відносно дешевих літальних апаратах, що володіють високими характеристиками маневреності і здатних виконувати широке коло завдань. БПЛА успішно виконують завдання військового й цивільного призначення [1].

Відмінною рисою цього виду авіаційної техніки є відсутність людини (екіпажу) на борту. Безпілотні літаки, гвинтокрили (гелікоптери), конвертоплани здатні тривалий час перебувати в

повітрі, здійснювати польоти на великі відстані й нести різне корисне навантаження. Ефективність виконання поставлених завдань залежить від точності позиціонування апаратів у повітряному просторі. Для визначення місця розташування їх у польоті застосовуються GPS/ГЛОНАСС приймачі. Як додаткові або альтернативні супутникові системи навігації та наведення безпілотників можуть слугувати бортові системи орієнтування з реалізацією методів отримання зображень і розпізнавання об'єктів. В інтересах військового й цивільного призначення БПЛА можуть застосовуватися в таких галузях [2, 3]:

- для ведення пошукових робіт;
- виконання геологічної розвідки;
- аерозйомки місцевості;
- виконання авіаційних хімічних робіт;
- моніторингу територій та об'єктів;
- ведення відеоспостереження.

БПЛА можуть надати дієву допомогу у випадках виявлення та ліквідації наслідків аварій і техногенних катастроф: проводити зйомку місцевості, знаходити постраждалих людей, доставляти їм їжу й медикаменти, патрулювати

маршрути руху транспорту, здійснювати моніторинг будівель і промислових споруд, уточнювати стан об'єктів енергетики, інфраструктури та комунікацій тощо [4]. Функціональне навантаження БПЛА різних класів і призначення варіюється в широких межах. Його зміст може включати в себе завдання навігації БПЛА, його приводу й посадки в місце старту, цілодобового контролю наземної картини бортовими теле- й тепловізійними каналами та низку інших завдань, визначених призначенням апарату [5].

З початку 1990-х років у світі відзначається стійкий інтерес до БПЛА [6]. Свідченням цьому є повідомлення засобів інформації про успішні застосування безпілотних літаків збройними силами США, Ізраїлю та інших держав у міжнародних конфліктах, безперервне вдосконалення тактико-технічних характеристик розроблюваних комплексів тощо [7].

У цивільній сфері БПЛА застосовуються в основному для моніторингу надзвичайних ситуацій (далі – НС) і пожежної обстановки, спостереження за дорожнім рухом, екологічним станом (атмосфери, стану льодовиків, дослідження Світового океану), «комерційного» моніторингу (об'єктів виробничої інфраструктури, геофізичної аеро-, фото-, відеозйомки, аерокартографії тощо) [8].

Найбільшого поширення набули БПЛА літакового та гелікоптерного типу, військового й цивільного призначення. БПЛА мають низку переваг [9]. По-перше, для виконання одних і тих самих завдань, легкі безпілотні апарати обходяться набагато дешевше пілотованих літаків, що потрібно оснащувати системами життєзабезпечення, захисту, кондиціонування тощо. Потрібно готувати пілотів, а це коштує великих грошей. У підсумку виходить, що відсутність екіпажу на борту істотно знижує витрати на виконання того чи іншого завдання, а також підвищується корисне навантаження БПЛА. По-друге, легкі (порівняно з пілотованими літаками) БПЛА споживають менше палива. По-третє, на відміну від пілотованих літаків, машинам без пілота не потрібні аеродроми з бетонним покриттям. Більшість аеродромів потребують реконструкції, а темпи ремонту сьогодні не встигають стежити за придатністю злітно-посадкових смуг. По-четверте, важливою перевагою під час використання систем автоматичного та напівавтоматичного управління можна вважати виключення людського фактору під час виконання поставленого завдання.

Недивно, що дослідження різних сторін застосування й використання нових інформацій-

них технологій, у тому числі комплексів БПЛА, завдяки їх багатоцільовим можливостям, відразу потрапили у сферу військових і цивільних інтересів, особливо щодо можливості надання допомоги пораненим і постраждалим у важкодоступних районах локальних конфліктів і НС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективність застосування БПЛА наочно доведена у військовій сфері, а саме в численних локальних війнах і збройних конфліктах за останні 2–3 десятиліття. Натепер в арміях провідних країн світу все більше розвідувальних і бойових завдань покладаються саме на БПЛА. Однак питанням застосування літальних апаратів цього класу й цілих комплексів на їх основі під час проведення ліквідації наслідків НС у нашій країні приділяється недостатньо уваги, а відтак це потребує подальшого детального дослідження та впровадження на сучасному рівні у практичну діяльність ДСНС.

**Постановка завдання.** Розвиток нових інформаційних технологій спонукає до ретельного дослідження професійних та економічних аспектів багатоцільового використання БПЛА як у військовій сфері, так і в інтересах медичної служби, особливо в районах локальних конфліктів і в ході ліквідації наслідків НС. Оскільки технології рано чи пізно неминуче перенесуться з військової сфери в громадянську, то актуально вивчити, які з комплексів БПЛА найбільш доцільно використовувати у сфері цивільного захисту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наведені в річному звіті «UVS International 2016/2017» дані показують, що неухильне зростання кількості БПЛА у світі супроводжується зростанням кількості розробників, причому кількість країн, залучених у цей процес, з 2004 по 2017 роки практично не змінюється. У звіті представлено перелік із 59 країн. Із величезним відривом за кількістю розробників (341) лідирують США, Ізраїль (72) і Франція (65). Крім названих, показник вище ніж 30 мають Італія та Німеччина, тобто у світі всього 6 країн, що мають повну технологію виробництва комплексів з БПЛА.

Україна дуже поступається провідним країнам світу. Колишні республіки СРСР також активно переозброюють власні армії, приділяючи значну увагу їх оснащення безпілотними системами як ефективним засобом розвідки [10–13].

Провідними виробниками є США (компанії «General Atomics», «Northrop Grumman», «Boeing») (до 50% ринку) й Ізраїль (концерн «IAI – Israel Aircraft Industries», а також дочірня

компанія «Elta»). Один із визнаних світових лідерів у виробництві та використанні систем БПЛА – Ізраїль [7]. Не маючи раніше власної авіаційної промисловості, але ефективно використовуючи доступ до американських розробок і досвід фахівців різних країн, він не тільки забезпечив власну оборону й мінімізував втрати військовослужбовців у постійних конфліктах, а й ґрунтовно проник на ринки озброєнь країн Європи, Південно-Східної Азії та Америки (не тільки Латинської, а й Північної). Прогноз американської консалтингової компанії «Teal Group» оцінює ринок безпілотних авіаційних систем на найближче десятиліття в 30 млрд. доларів США [14].

За оцінкою маркетингового агентства «Frost & Sullivan», що досліджував тенденції розвитку ринку безпілотних авіаційних систем у період з 2007 по 2016 роки, доходи глобального ринку безпілотних систем виросли з 2,0 до 5,5 млрд доларів США, з яких понад 60% припадає на США і приблизно по 20% – на ринки Європи й Азіатсько-Тихоокеанського регіону.

У вітчизняній і зарубіжній літературі розділяють поняття «безпілотний повітряний літальний апарат» – UAV (Unmanned Aerial Vehicle) (БПЛА) і «дистанційно пілотований літальний апарат» – RPV (Remotely Piloted Vehicle) (далі – ДПЛА). У взаємодії ДПЛА з наземним пунктом управління та його центральним елементом – людиною-оператором – реалізується головна особливість ДПЛА – інтерактивне управління. Отже, ДПЛА – це автоматизований інтерактивний БПЛА, здатний виконувати політ по заданому маршруту й підтримувати свою орієнтацію в просторі без втручання людини, водночас готовий реагувати на дії людини-оператора.

БПЛА, як правило, виконує політ за закладеною в бортовий комплекс управління програмою з отриманням і/або передачею цільової інформації по радіоканалу споживачам, однак багатofункціональний та інтелектуальний характер подібних технічних комплексів передбачає зміну програм польоту в реальному масштабі часу. Наявність автопілоту на БПЛА поряд із засобами дистанційного керування поза зоною візуальної та/або радіотехнічної видимості відрізняє його від простої спортивної авіамоделі.

У документах Міністерства оборони США також уживається термін «безпілотні авіаційні системи», або «системи безпілотного управління літальними апаратами» – UAS (Unmanned Aircraft Systems), під цим мається на увазі літальний апарат, тільки як частина більш загальної системи.

Наприклад, програма компаній США «Northrop Grumman», «Boeing» і лабораторії прикладної фізики Університету Джона Хопкінса з розроблення системи з малопомітними дозвукowymi БПЛА X-45С (для ВПС) і X-47В (для авіаносців ВМС) для подолання систем ППО й виконання ракетно-бомбових ударів має назву «Єдина безпілотна бойова авіаційна система» (J-UCAS). Тому в подальшому ми будемо користуватися терміном «БПЛА» для опису можливостей повітряних апаратів із цільовою апаратурою без пілота.

Використовувані класифікації БПЛА, як правило, ґрунтуються на таких основних ознаках: призначення, дальність застосування, кратність застосування, злітна маса, конструктивна схема, льотно-технічні характеристики, спосіб управління, тип силової установки, спосіб зльоту й посадки.

Натепер в Україні не існує загальноприйнятої класифікації БПЛА. Сьогодні існує сучасна класифікація БПЛА літакового типу, розроблена на основі підходів організації UAV International [4]. Пропонована класифікація включає такі категорії:

- мікро- й міні-БПЛА ближнього радіусу дії (злітна маса до 5 кг, дальність дії – 25–40 км);
- легкі БПЛА малого радіусу дії (злітна маса – 5–50 кг, дальність дії – 10–70 км);
- легкі БПЛА середнього радіусу дії (злітна маса – 50–100 кг, дальність дії – 70–150 км);
- середні БПЛА (злітна маса – 100–300 кг, дальність дії – 150–1000 км);
- середньо-важкі БПЛА (злітна маса – 300–500 кг, дальність дії – 70–300 км);
- важкі БПЛА середнього радіусу дії (злітна маса – понад 500 кг, дальність дії – 70–300 км);
- важкі БПЛА великої тривалості польоту (злітна маса – понад 1500 кг, дальність дії – близько 1500 км);
- безпілотні бойові літаки (злітна маса – понад 500 кг, дальність дії – близько 1500 км).

Сьогодні найбільшого поширення за кордоном набула класифікація БПЛА, що найбільш повно відображає сучасні погляди на форми і способи їх застосування. Класифікація передбачає поділ БПЛА за призначенням на розвідувальні, бойові й БПЛА забезпечення (призначені для виконання інших завдань) (таблиця 1).

За оцінкою маркетингового агентства «Frost & Sullivan», значний ринок міні-БПЛА дає помірний дохід, відповідний вартості цих систем. Багато з можливостей сучасних тактичних БПЛА малої дальності будуть доступні модернізованим системам класу «міні», зважаючи на зростаючі

можливості цільового устаткування і його мініатюризацію, попит на них залишається на постійно високому рівні як на нові системи, так і для заміни діючих. Кількість апаратів висотних, великої дальності буде обмежено (менше ніж 10 одиниць в Європі).

Очікується високий постійний попит на платформи БПЛА середньої дальності («Predator Reaper», «Heron»), що й будуть домінувати на ринку. Необхідно підкреслити, що очікується істотне збільшення цивільного сегмента ринку практично в усіх регіонах світу, особливо для забезпечення безпеки.

Відмінною особливістю БПЛА є орієнтованість на завдання. Сьогодні як основні галузі застосування БПЛА розглядаються інформаційне забезпечення різних видів діяльності, дистанційний контроль за різними об'єктами, меншою мірою – ретрансляція зв'язку й доставка будьяких вантажів. Отже, комплекси з БПЛА принципово можуть вирішувати ті самі завдання, що й пілотована авіація.

Варто зазначити, що перші спроби використання БПЛА в інтересах медичної служби датуються кінцем 1970-х років. Проводилися спроби використовувати оптику для пошуку поранених військовослужбовців з повітря. Однак перші досліди виявилися невдалими внаслідок різних технологічних причин (недосконалість оптики, конструкції тощо). Нині основними передовими технологіями під час виробництва безпілотних комплексів є використання сучасних композитних конструкційних матеріалів із застосуванням нанопокриттів, багатопроцесорних комп'ютерних технологій, засобів і систем пере-

дачі інформації й навігації (шифрування, стиснення даних), енергетичних технологій (надмістких акумуляторів, сонячної енергії та сучасних паливних елементів), радіолокації, гідростабілізованих оптико-електронних систем, багатоспектральних датчиків. Під час постановки тепловізорів, лазерних далекомірів, нових цифрових технологій, нової оптики США вдалося досягти можливості знаходити поранених і постраждалих у важкодоступних місцях – у пустелях і лісах.

У Японії існує апарат A124, який під час використання датчиків на кожному військовослужбовцю може показувати його місце розташування, а в разі поранення датчик подає певний сигнал про пошкодження користувача. Дані системи дублює супутник. Проте перший БПЛА, побудований тільки в цілях медичної служби [7], був сконструйований в Ізраїлі (рис. 1).



Рис. 1. Модель безпілотного медичного гвинтокрила

Причинами створення БПЛА для медичних цілей стали складні умови місцевості в зоні бойових дій, висока щільність вогню, малий масштаб

Таблиця 1

Класифікація БПЛА [1]

Категорія БПЛА	Скорочена назва	Дальність польоту, км	Тривалість польоту, год
1. Тактичні: - мікро - міні - дуже малої дальності - малої дальності - середньої дальності - низьковисотний глибокого проникнення - великої дальності тривалого польоту	μ	< 10	1
	Mini	10	< 2
	CR	10–30	2–4
	SR	30–70	3–6
	MR	70–200	1
	LADP	> 250	1
	LR	> 500	13–16
	EN	> 500	12–24
2. Стратегічні: - середньої висоти й великої тривалості польоту - великої висоти й великої тривалості польоту	MALE	> 500; висота до 8	24–28
	HALE	> 1000; висота до 20	12–40

держави, брак людських резервів. Авіація виявилася малоефективною за перерахованих причин, унаслідок яких пілоти просто не могли близько підібратися до поранених і постраждалих через ризик бути збитими.

БПЛА є гвинтокрил, що бере на борт 4 поранених. Завантаження в гвинтокрил виконує ланка санітарів-носіїв. Поранені й постраждали в ньому знаходяться в чарунках, до кожного з них може бути підключений спеціальний датчик, приєднаний до комп'ютера, основними завданнями якого є постійний контроль за основними життєво важливими показниками й передача цих даних у центр управління.

Безпілотний медичний гвинтокрил може розвивати швидкість до 150 км/год. Легко броньований, обладнаний системою оборони і протидії нападу. Нова оптична система відповідно до програми посадки дає змогу забезпечити точне приземлення в призначений район (виключаючи «людський фактор») і стабільне пілотування машини в будь-яких бойових умовах. Гвинтокрил може перебувати в повітрі до 1 години. Максимальна висота польоту – 150 м, швидкість – до 50 км/год, радіус дії – до 10 км. У разі необхідності гвинтокрил вмє зависати над землею. Площа поверхні, яку здатна охопити телекамера з максимальної висоти, становить 2500 м<sup>2</sup>. Точність прив'язки зображення до карти – від 5 до 10 м.

Творці безпілотного медичного гвинтокрила вважають, що їхній апарат може застосовуватися під час проведення пошуково-рятувальних робіт. Отже, БПЛА під час ліквідації наслідків НС можуть бути використані для вирішення таких завдань:

- визначення меж зони екологічного лиха (осередку масових санітарних втрат), наприклад, зони пожежі й задимлення (нафтова вишка, лісові пожежі), зони паводку та повені (зони затоплення під час руйнування гідротехнічних споруд);

- обльоту території (акваторії) з метою уточнення зони (зон) НС (зони затоплення та руйнувань, зони задимлення, зони пожеж, прохідність місцевості, розвідка маршрутів тощо);

- пошуку поранених і постраждалих у важкодоступних районах локальних конфліктів і НС, на великих площах (море, тундра, степ, пустеля, тайга, гори);

- доставки пораненим і постраждалим у важкодоступні місця різних вантажів, у тому числі й медичного призначення (медикаменти, медичні інструменти тощо);

- евакуації поранених і постраждалих з важкодоступних місць;

- розвідки місць передбачуваного розгортання сил і засобів Міноборони, формувань ДСНС, у тому числі й медичних;

- дистанційного контролю за обстановкою в зоні НС (відбір різних проб);

- ретрансляції аудіо-, відеосигналу в зонах невидимості.

**Висновки.** З огляду на зростаючі можливості цільового устаткування і його мініатюризації, попит на сучасні БПЛА малої дальності залишається на постійно високому рівні (як на нові системи, так і для заміни діючих). До 2016 року доходи глобального ринку безпілотних систем виросли до 5,5 млрд доларів США. У світі всього 6 країн мають повну технологію виробництва комплексів з БПЛА.

Важливими характеристиками використання БПЛА в медичному забезпеченні в районах локальних конфліктів і ліквідації наслідків НС є простота у використанні, використання за будь-якої погоди, наявність автоматичного комплексу управління з можливістю управління в ручному та автоматичному режимах від зльоту до посадки, можливість екстреної доставки пораненим і постраждалим у важкодоступні місця вантажів медичного та іншого призначення.

Зацікавленість медичної служби різних відомств, особливо Міноборони і ДСНС України, полягає у використанні нових інформаційних технологій, у тому числі комплексів БПЛА, передусім завдяки їх багаточільовим можливостям. Необхідно також розглядати перспективні підходи до формування кваліфікованих медичних кадрів для роботи з БПЛА та забезпечення безпеки їх діяльності.

#### Список літератури:

1. The Unmanned Aerial Vehicle Systems Association (UAVS). URL: <http://www.uavs.org/> (дата звернення: 12.01.2018).
2. Азаров І., Сидоренко В., Серeda Ю. Використання безпілотного літального апарата як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій. Безпека життєдіяльності. 2015. № 2. С. 30.
3. Азаров І.С., Сидоренко В.Л., Серeda Ю.П. Можливість радіаційної розвідки при аварії на АЕС з використанням безпілотного літального апарата. XXII щорічна наукова конференція ІЯД НАН України: тези допов. конф. (Київ, 26–30 січня 2015 р.). Київ: ІЯД НАН України, 2015. С. 92–93.

4. Азаров І.С., Сидоренко В.Л., Середа Ю.П. Концептуальна розробка безпілотного літального апарату як засіб дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій. Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. (Харків, 12 березня 2015 р.). Харків: НУЦЗУ, 2015. С. 4–5.

5. Сидоренко В.Л., Азаров І.С. Використання безпілотного літального апарату як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій на військових об'єктах підвищеної екологічної небезпеки. Екологічна безпека держави: зб. тез доп. ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів (Київ, 16 квітня 2015 р.). Київ: НАУ, 2015. С. 27–28.

6. BBC Израйля представили беспилотный вертолет для спасения раненых с поля боя (израильские технологии). URL: <http://www.jewish.ru/news/world/> (дата звернення: 12.01.2018).

7. Сурков А. Беспилотные летательные аппараты. Применение, рынки, перспективы развития. Аеро – BUSINESS. 1998. № 1. С. 35–37.

8. Сидоренко В.Л., Азаров І.С., Мінська Ю.Ю. Екологічний моніторинг зони надзвичайної ситуації за допомогою безпілотного літального апарату. V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: зб. наук. праць з'їзду (Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 249.

9. Азаров І.С. Концепція безпілотного апарату для ведення радіаційної розвідки. Політ. Сучасні проблеми науки, напрям «Військова освіта»: тези доп. XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів (Київ, 8–9 квітня 2015 р.). Київ: НАУ, 2015. С. 23.

10. Кутовий О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів. Наука і Оборона. 2000. № 4. С. 39–47.

11. Безпілотний літальний апарат. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний\\_літальний\\_апарат](https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат) (дата звернення: 12.01.2018).

12. Безпілотники України. URL: <http://special.obozrevatel.com/uav> (дата звернення: 12.01.2018).

13. Стан та перспективи розвитку безпілотних літальних апаратів в Україні. URL: [http://www.docme.ru/doc/1513123/stan-taperspektivi-rozvitku-bezpilotnih-lital\\_nih-aparat](http://www.docme.ru/doc/1513123/stan-taperspektivi-rozvitku-bezpilotnih-lital_nih-aparat) (дата звернення: 16.01.2018).

14. UVS-TECH 2009. Беспилотные летательные аппараты, «вооруженные» современными системами, позволяют решать сложнейшие задачи. URL: <http://vpk.name> (дата звернення: 16.01.2018).

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

*В обзоре отечественной и зарубежной литературы представлены краткие данные об истории возникновения и эффективности применения беспилотных воздушных летательных аппаратов, а также некоторые особенности их использования в наиболее развитых странах мира.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, экстренная внебольничная медицинская помощь, чрезвычайная ситуация.

#### **PERSPECTIVES OF USE OF UNBEILED FLYING MACHINES FOR CONDUCTING THE ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS**

*The review of domestic and foreign literature presents brief data on the history of the emergence and effectiveness of unmanned aerial aircraft, as well as some features of their use in the most developed countries of the world.*

**Key words:** unmanned aerial vehicle, emergency medical care outside the hospital, emergency situation.



# КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 005.8:519.87

**Garbuz S.K.**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

**Titov S.D.**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

## THE MECHANISM OF MANAGING THE VALUES OF STAKEHOLDERS IN THE PROJECTS OF THE FORMATION OF A NEW BRANCH SPECIALIZATION

*The way of the values balancing of the stakeholders at the realization of the projects on the creation of the new branch educational speciality on the base of the games theory has been proposed. The formalization of the project main participants strategies gives the possibility to receive the game payment matrices and to identify the optimal strategy of their action for the purpose of the benefit maximization.*

**Key words:** branch educational speciality, values of stakeholders, bimatrix games, value-oriented management.

**Formulation of the problem in general.** Management-by-value methodology structures the approach to organizational development through the creation of values, organization priorities and the needs of stakeholders and customers. Today, projects and programs are viewed as the realization of the mission and the goal of the owner, which leads to the creation of a new value, which is characterized by uniqueness and distinctive features [1]. The main attention of the experts is devoted to the following interpretation of value-oriented management – «management that provides adoption of projects that contribute to prosperity in the future» and «management of regular monitoring of projects and programmes».

Value-oriented management of the stakeholders of higher education development projects requires today the professionalism of management, the ability to manage on the basis of a value-added approach. This involves identifying the common values of the various categories of workers that are the factors of effectiveness and that create the benefits or limitations of the company activity.

**Analysis of recent publications on the subject of research.** The thorough research of value-oriented project management lies in the works of such well-known scientists as: O. Medvedeva, S. Bushuev, N. Bushueva, N. Yaroshenko, V. Racha, O. Kolyada, O. Yak-

hontova, K. Koshkina, V. Molokanova, N. Rulikova, A. Borzenko-Miroshnichenko.

In [2], the definition of the concept of «value» is interpreted by the author as an assessment of the importance of the object for the outside world and its subjective assessment of the environment. In [3], the introduction of a value-based approach to constructing a model for harmonizing the values of stakeholders in the conditions of a turbulent environment is explored.

In [1], we discover the mechanisms of value-oriented development of the organization on the basis of the spiral theory of system development with application of the project approach. In [4], we investigate the system of distribution of values as an instrument of integration of the mental space.

The basis of the concept of value-oriented management of the organization's development is the methodology of project management and the theory of the life cycle of the organization's development. The theory of evolutionary values of the professor of psychology, Clare Graves, states that in response to the changed living conditions, humanity develops new value systems, the level of the dominant values in the organization determines how the company solves problems at each stage of its development [5].

From the standpoint of the author [6], a project or a programme is always associated with the changes that create values for stakeholders and have a result in the form of a new product or service.

The first step in the process of value-oriented development of the system, in accordance with the P2M standard, is the description of the mission, which defines the vision of the dominant organizational value, on the basis of which the corresponding strategy is developed. Next, the strategy must be transformed into the main objective of the programme and the secondary goals that are consistent with the priorities of the organization's development. Value management practices consider the following three functions: to identify value, create value, impose value [7]. The mathematical models are presented. They allow obtaining recommendations for the use of pure and mixed strategies for maximizing the values of players based on models of games with zero sum and bimatrix games [8].

In contemporary scientific literature, little attention is paid to the management of the development of branch educational specialties of higher educational institutions and to the increase of the efficiency of management of such projects through the management of the stakeholders by the provision of new educational services. The success stories and success factors for these projects, as well as the reasons for the disruption, have not been studied.

**The purpose of the work** is to develop, on the basis of game theory, a mechanism for balancing the values of stakeholders when implementing projects for the creation of a new branch training specialty, in determining the stakeholders of the educational project to determine which categories of participants affect their results, what their impact may be, as well as to measure the degree of interest.

**Main part.** A higher educational institution, entering the market of educational products and services with its own educational programmes, produces specialists of various levels and profiles that have mastered the educational programs offered by the university.

As a result of the development of these educational programmes, graduates have acquired the knowledge, skills and abilities which are necessary for the modern labour market. The higher educational establishment, in the end, provides labour, does not receive direct material benefits, but expects to receive feedback from its target audience in the form of raising the prestige of the university, increasing the influx of entrants (ie, demand for educational programmes), strengthening its competitive position among other universities [6].

The projects of a higher educational establishment are supposed to mean preparation of specialists in

different specialties, scientific subjects and provision of other educational services. Since the state issues a license to a higher education institution to provide a particular educational service or to develop a scientific subject for a certain period of time with limited resources, the indicated results, each of the above categories of services is a project (a unique activity, with a beginning and an end, aiming at achieving a predetermined result for limited resources). Each project uses the resources provided by a certain functional unit. Project managers have the project authority and are responsible for integrating all types of activities related to the implementation of this project. For the effective operation of any system, there must be a clear and well-organized management process [9].

Today, the Ministry of Education and Science of Ukraine seeks to establish high and clear requirements for the performance of higher education institutions. The procedure has been substantially simplified and, at the same time, new, much more stringent requirements are established, under which the higher education institution can be accredited, to obtain the status of a scientific institution that can claim state support [10]. In the process of achieving the goals of the organization, one must take into account the various interests of the various stakeholders who will represent a certain type of informal coalition. There may also be various relationships between stakeholders, which do not always have the nature of co-operation, coincidence of interests, but may be competitive [11].

For example, taking into account the values of the university, we are using the study of behavioral mechanisms of stakeholders and the use of these mechanisms to assess the success of stakeholder management in the preparation of future specialists at the International Training and Consultation Point. As can be seen from the conducted research, the National University of Shipbuilding named after Adm. Makarov (NUS) under the Contract organizes and provides training for Georgian citizens jointly with the Batumi Study-and-Navigation University (hereinafter BNNU) in accordance with the curriculum. During the training, the educational, material resources and teaching staff of the BNNU are involved in accordance with the existing training licenses. In this case, the values of the organization are preserved, the parties are liable in accordance with the current legislation of Ukraine for non-fulfillment or inappropriate fulfillment of obligations under this Contract. Since a large number of people with different knowledge in different fields are involved in the implementation of a project or a programme, they must target their efforts to achieve a single goal and achieve a commonly planned outcome [12].

Table 1  
**Potential participants of the project  
 on the educational services grant**

Rector	Employers	State
Heads of the University Units	Partners, Special Universities and Enterpris.	Ministry of Higher Education., employment center
<i>University Structural Units</i>	<i>University entrant, bachelors</i>	<i>Media</i>
Work Project Group	University Research and Educational	Interested groups
<i>Customers</i>	<i>Investors, Economic Partners</i>	<i>Municipality</i>
Ports, crew companies, shipbuilding plants	Trade Associations	Universities – competitors
<i>Key consumers</i>	<i>Creditors</i>	<i>Analytics</i>

Therefore, without a holistic concept of value-oriented management, it is not possible to encompass a whole range of issues and participants or stakeholders of the programmes of development of branch educational specialties of universities.

Let us turn to one of the directions of applied mathematics – decision-making, namely quantitative methods. They are based on a scientific and practical approach, which involves the selection of optimal solutions by processing large amounts of information. Depending on the type of mathematical functions, laid down in the basis of models, they distinguish:

- linear modeling – linear dependencies are used;
- dynamic programming – allows you to enter additional variables in the process of solving problems;
- probabilistic and statistical models – are implemented in the methods of the theory of mass service;
- the theory of games* – the simulation of such situations, the decision making in which one should take into account the divergence of interests of different units. The basic concepts of game theory are interpreted as follows: the mathematical model of a conflict situation is called a game, the parties involved in the conflict-players, and the outcome of the conflict – a solution [13, p.174].

When defining stakeholders of the educational programme, it is necessary to find out what categories of participants affect their results, what their impact might be, and to assess the degree of interest. The identification of priorities among stakeholders also generates ideas about the types of strategies that are most suitable for managing them. Distributing the project stakeholders to the categories of Customers

(A) and Performers (B), we consider the signs of conflict of values of players in the project for the formation of a new branch specialty. The authors present a solution to the optimization problem performed by the simplex method.

$$C_A = \begin{bmatrix} 6 & 8 & 9 & 7 & 1 \\ 7 & 1 & 5 & 4 & 5 \\ 2 & 9 & 3 & 4 & 5 \\ 4 & 9 & 1 & 6 & 3 \\ 4 & 6 & 8 & 8 & 4 \end{bmatrix}, C_B = \begin{bmatrix} 8 & 6 & 2 & 3 & 6 \\ 6 & 1 & 8 & 8 & 3 \\ 5 & 8 & 4 & 2 & 6 \\ 1 & 2 & 1 & 4 & 9 \\ 2 & 4 & 7 & 8 & 2 \end{bmatrix}$$

Payment matrices of players A and B.

$$\alpha_A = 4, \beta_A = 5, \alpha_B = 2, \beta_B = 8$$

$$X_A = \left[ \frac{2}{407}, \frac{190}{407}, \frac{134}{407}, \frac{12}{407}, \frac{69}{407} \right], v_A = \frac{1934}{407}, \{4.8\}, Y_B = \left[ \frac{125}{2064}, \frac{107}{516}, \frac{41}{688}, \frac{727}{2064}, \frac{661}{2064} \right], v_B = \frac{9961}{2064}, \{4.8\}$$

$$X_A = (0.0049, 0.47, 0.33, 0.029, 0.17), Y_B = (0.061, 0.21, 0.060, 0.35, 0.32)$$

Solution on the basis of linear optimization.

$$Y_A = \left[ \frac{138}{407}, \frac{89}{407}, \frac{1}{37}, \frac{21}{407}, \frac{4}{11} \right], v_B = \frac{1934}{407}, \{4.8\}, X_B = \left[ \frac{377}{2064}, \frac{443}{2064}, \frac{659}{2064}, \frac{89}{1032}, \frac{407}{2064} \right], v_A = \frac{9961}{2064}, \{4.8\}$$

$$Y_A = (0.34, 0.22, 0.027, 0.052, 0.36), X_B = (0.18, 0.21, 0.32, 0.086, 0.20)$$

**Conclusions.** According to the results of the conducted research, the following statements can be made.

In order to balance the values of stakeholders when implementing projects for the creation of a new branch specialization, it is expedient to use the theory of games.

Formalizing the strategies of key project participants enables us to receive payment matrices of the game and determine the optimal strategy of their behavior in order to maximize the benefits.

Further research should be conducted in the direction of substantiation of various forms of play.

#### References:

1. Molokanova V. Method of the project portfolio formation on the base of the enterprise dominant values. *Universum: Engineering Sciences: Electronic scientific journal*. 2014. № 2(3). URL:<http://7universum.com/ru/tech/archive/item/1033> (date of calling is 25.04.2017).
2. Medvedeva O. Value-orientated management of the cooperation in the projects like a scientific direction in the project management and programmes. *Project Management and industry development: Col. of the scient. works – Lugansk: Publishing House of V. Dal ENU*. 2012. Vol. 3 (43). P. 124–136.
3. Bushuev S., Bushueva N., Yaroshenko R. Model of the enterprise development programmes values harmonization in the conditions of the environment turbulence. *Management of the complex systems development*. 2012. Vol. 10. P. 9–13.
4. Yaroshenko N. System of the «shared values» like the integrator of the project community. *Management of the complex systems*. 2012. Issue 10. P. 83–86.
5. Clare W. Graves. Compared with other theories. URL: [http://www.clarewgraves.com/theory\\_content/compared/CGcomp1.htm](http://www.clarewgraves.com/theory_content/compared/CGcomp1.htm). (date of calling is 18.10.2017).
6. Borzenko-Miroshnichenko A. Methodical basics of the world projects product monitoring: assessment and organizational aspects. *Project management and production development: Collection of the scientific works*. Lugansk: Publishing House of V. Dal ENU. 2005. № 3(15). P. 147–154.
7. Guidance on the innovation projects and programmes management. P2M. Vol. 1, Version 1.2. / Translation from English edited by professor S. Bushueva. Kyiv, 2009. 173 p.
8. Grigoryan T. Use of the bimatrix games in the harmonization of the project stakeholders value. *Herald of NTU «CPI»*. Series: Strategic management, management of the portfolio, programmes and projects. Kharkov: NTU «CPI». 2017. № 3(1225). P. 35–42.
9. Garbuz S. Value approach of the stakeholders management in the programmes of the University new world services rendering. *Open information and computer integrated technologies*. Kharkov: Zhukovskiy KAI. 2017. № 75. P. 179–187.
10. Cabinet of Ministers of the Ukraine Ordinance of the 8 th of August, 2007 ,№ 1019 on the licensing of the educational services rendering activity {with the changes which are in accordance with the CM ordinances № 849 dated 10.08.2011; № dated 10.08.2011; № 1124 dated 31.10.2011; № 801 dated 15.08.2012; № 692 dated 18.09.2013; № 28 dated 22.01.2014}; URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws> ( date of calling is 05.01.2015).
11. Garbuz S. Value – oriented management of the stakeholders by the projects in the field of the maritime education. *Collection of NUS scientific works*. 2016. № 2. P. 80–84.
12. Garbuz S. Management of the engineering specialists for the field of shipbuilding education projects stakeholders. *Management of the complex systems development*. 2017. № 29. P. 40–45.
13. Research of the procedures in economics: Workbook for University / Kremer N., Putko B., Trishin I., Fridman M. / edited by professor N. Kremer. Moscow, 2005. 407 p.

#### **МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ ЦІННОСТЯМИ ЗАЦІКАВЛЕНИХ СТОРІН У ПРОЕКТАХ ФОРМУВАННЯ НОВОЇ ГАЛУЗЕВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СПЕЦІАЛЬНОСТІ**

*Запропоновано механізм балансування цінностей зацікавлених сторін при реалізації проектів створення нової галузевої навчальної спеціальності на основі теорії ігор. Формалізація стратегій основних учасників проектів дає змогу отримати платіжні матриці гри та визначити оптимальну стратегію їх поведінки з метою максимізації вигід.*

**Ключові слова:** галузева навчальна спеціальність, цінності стейкхолдерів, біматричні ігри, ціннісно-орієнтоване управління.

#### **МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕННОСТЯМИ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН В ПРОЕКТАХ ФОРМИРОВАНИЯ НОВОЙ ОТРАСЛЕВОЙ УЧЕБНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

*Предложен механизм балансирования ценностей заинтересованных сторон при реализации проектов по созданию новой отраслевой учебной специальности на основе теории игр. Формализация стратегий основных участников проектов дает возможность получить платежные матрицы игры и определить оптимальную стратегию их поведения с целью максимизации выгод.*

**Ключевые слова:** отраслевая учебная специальность, ценности стейкхолдеров, биматричные игры, ценностно-ориентированное управление.

# ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.314.58

**Терещенко Т.О.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ямненко Ю.С.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Кузін Д.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Клепач Л.Є.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ФОРМУВАННЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ БАГАТОРІВНЕВОГО КАСКАДНОГО ІНВЕРТОРА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ФУНКЦІЙ У ПОЛЯХ ГАЛУА

*Запропоновано спосіб формування вихідної напруги багаторівневого каскадного інвертора на базі ортогональних перетворень дискретних функцій  $t$ -ічного аргументу в полях Галуа. Проведено оцінку переваг і недоліків отриманих схем інверторів із погляду коефіцієнта нелінійних спотворень. Наведено узагальнений порядок синтезу напруги з амплітудно-імпульсною модуляцією та обґрунтовано вибір кількості інверторних модулів.*

**Ключові слова:** багаторівневий інвертор напруги, ортогональні перетворення, дискретні функції, поле Галуа, модульна структура.

**Постановка проблеми.** Однією з ключових проблем сучасної електроенергетики є забезпечення високого рівня енергоефективності систем живлення та забезпечення належної якості вихідних параметрів напруги (струму). Особливе місце займають системи електропостачання з відновлювальними джерелами енергії. Вихідним параметром основних відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні батареї і вітрогенератори, є змінювана в широкому діапазоні постійна напруга. Для забезпечення споживачів змінною напругою 220 В 50 Гц використовують інвертори напруги. Особливу складність викликає процес отримання з малими значеннями коефіцієнта нелінійних спотворень (далі – КНС) близько кількох відсотків, оскільки навіть

невеликі спотворення напруги призводять до додаткових втрат і зниження техніко-економічних показників системи в цілому. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є використання багаторівневих інверторів (далі – БРІ), які дозволяють отримати високу якість вихідного параметру за рахунок формування ступінчастої форми напруги (струму). Особливістю БРІ є те, що для отримання високовольтної вихідної напруги використовуються дешеві стандартні низьковольтні IGBT модулі [1].

Серед схем БРІ [2] особливе місце займають каскадні багаторівневі інвертори, топологія яких базується на послідовному з'єднанні кількох однофазних інверторів у фазі навантаження. Кожен інвертор може розглядатися як модуль із

аналогічною топологією силових схем та керування. Перевагою цієї топології є використання уніфікованого ряду модулів; висока надійність за рахунок резервування; міжмодульний розподіл вхідної напруги, струму, потужності для забезпечення рівномірного навантаження силових ключів перетворювача. Кількість рівнів вихідної напруги БРІ цього типу визначається як  $M=2s+1$ , де  $s$  – кількість модулів.

Вибір кількості модулів у фазі визначається вимогами до КНС. Для зменшення КНС кількість модулів треба збільшувати, що призводить до ускладнення схеми та більших втрат, зокрема на комутацію. Отже, потрібно знаходити компроміс між кількістю модулів та допустимим граничним рівнем гармонічних спотворень у конкретних застосуваннях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективним методом синтезу перетворювачів електричної енергії є використання ортогональних базисів функцій у полях Галуа [3]. Відомий підхід до реалізації багаторівневого інвертора, що складається з декількох інверторних модулів, кожен із яких реалізує одну з функцій Уолша [4]. Коефіцієнти трансформації вихідного трансформатора кожного модуля визначаються коефіцієнтами ряду Уолша. Однак значення коефіцієнта нелінійних спотворень КНС для ступінчатої напруги за цим способом є досить високим, що в багатьох випадках неприпустимо. Так, за кількості інверторних модулів  $s = 3$  значення ТНД складає 26% [4], що не відповідає сучасним вимогам стандартів якості [5].

Відомо також формування багаторівневої напруги на базі перетворення Хартлі [6]. Проліструємо цей спосіб на прикладі.

Нехай вектор-колонка вихідної напруги визначається на  $\frac{1}{4}$  періоду синусоїдальної функції:

$$U_{вих} = \begin{pmatrix} 0.351 \\ 0.782 \\ 0.991 \end{pmatrix}$$

Відліки вектора  $U_{вих}$  апроксимують чверть періоду синусоїдального сигналу (рис. 1а)

Кількість цих дискретних значень, як і кількість базисних функцій Хартлі, у даному разі дорівнює  $m = 3$ . Значення коефіцієнта трансформації  $K$  визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{N} \cdot F_d \cdot F_r = \frac{1}{N} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \end{pmatrix} \cdot U_{вих} = \begin{pmatrix} 0.708 \\ -0.074 \\ -0.283 \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $N = m$  – інтервал визначення (кількість відліків) дискретних базисних функцій Хартлі;

$F_d$  – значення всіх базисних функцій прямого перетворення Хартлі, записані у вигляді квадратної симетричної матриці розмірністю  $m \times m$  ( $3 \times 3$ );

$U$  – вектор-колонка вихідної напруги.

Ступінчаста напруга БРІ описується виразом:

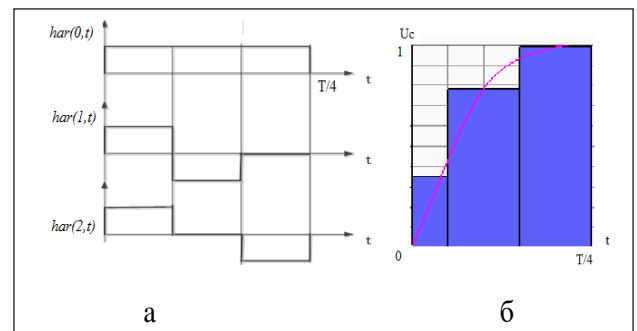
$$U_c = F_r \cdot K = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.708 \\ -0.074 \\ -0.283 \end{pmatrix} \quad (2)$$

де  $F_r$  – значення базисних функцій зворотного перетворення Хартлі, записані у вигляді квадратної симетричної матриці розмірністю  $m \times m$  ( $3 \times 3$ ).

Ступінчаста напруга може бути записана також у вигляді поліному:

$$U_c(t) = 0,708har(0,t) - 0,074har(1,t) - 0,283har(2,t) \quad (3)$$

де  $har(0,t)$ ,  $har(1,t)$ ,  $har(2,t)$  – три базисні функції зворотного перетворення Хартлі, що відображають відповідні рядки матриці  $F_r$  (рис. 1а). На рис. 1б наведено форму ступінчатої напруги, утвореної як сума базисних функцій Хартлі (рис. 1а) з коефіцієнтами, згідно з виразом (3).



**Рис. 1. Базисні функції зворотного перетворення Хартлі при  $m = 3$  (а) та форма ступінчатої напруги  $U_c(t)$  (б)**

За тих самих умов (кількість інверторних комірок = 3), порівняно із застосуванням функцій Уолша, значення ТНД за використання функцій Хартлі знижується і становить 22%. Недоліком цього способу є неможливість збільшення числа модулів до понад трьох для подальшого зменшення ТНД. Це пояснюється тим, що перетворення Хартлі визначено на інтервалі  $N = m^1$ , де  $m$  – ціле позитивне число. Однак лише при  $m = 3$  базисні функції перетворення Хартлі набувають значення  $+1, -1, 0$  і можуть бути легко реалізовані інверторними модулями.

Перетворення Хартлі є частковим випадком перетворення в орієнтованому базисі (ОБ-перетворення) [7], яке дозволяє більш гнучко обирати базис функцій, визначених

у полях Галуа, стосовно конкретної задачі. ОБ-перетворення визначає кількість відліків дискретних функцій як  $N = m^n$ . Отже, при  $n = 1$  та  $N = m$ , ОБ-перетворення збігається з перетворенням Хартлі [7].

У роботі [6] наведено приклад використання узагальненого ОБ, але не наведено схем силової частини та системи керування та не обґрунтовано обмеження з членами ряду.

**Постановка завдання.** Розробка способів формування керуючих сигналів каскадних багаторівневих інверторів на базі спектральних перетворень дискретних функцій у полях Галуа та визначення коефіцієнтів трансформації вихідного трансформатора з метою підвищення якості вихідного параметра (напруги або струму) – зменшення коефіцієнта нелінійних спотворень КНС вихідної напруги. Залежно від схеми БРІ, визначаються або напруга живлення модулів, або коефіцієнти вхідного трансформатора, якщо модуль містить випрямляч із трансформатором.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідимо інші спектральні перетворення, базисні функції яких також набувають значення  $+1, -1, 0$ . Ці умови задовольняють перетворення в ОБ при  $N = 3^n$  та узагальнене ОБ при  $N=3^n 12^{n_2}$  [4; 7; 8]. Переваги схем інверторів на базі перетворень, що визначені на інтервалах, кратних 3, також полягають у простоті і точності формування трифазної напруги.

Узагальнений спосіб синтезу ступінчастої напруги на базі спектральних ортогональних перетворень у полях Галуа передбачає такі етапи: 1) апроксимація синусоїди одиничної амплітуди ступінчастою функцією; 2) розкладання ступінчастої напруги в ортогональний ряд обраного прямого перетворення на інтервалі  $N = T/4T_0$ , де  $T_0$  – крок квантування синусоїдальної напруги; 3) синтез ступінчастої напруги за формулою зворотного перетворення та визначення КНС; 4) відкидання складових частин зворотного перетворення з малими ваговими коефіцієнтами та визначення КНС напруги за спрощеним виразом із меншою кількістю доданків ряду зворотного перетворення; 5) визначення остаточної формули зворотного перетворення, що забезпечує достатній рівень КНС; 6) визначення структурної схеми БРІ: реалізація базисних функцій зворотного перетворення інверторними модулями, а значень спектральних складових частин – амплітудою напруги живлення модулів або коефіцієнтами трансформації (рис. 2).

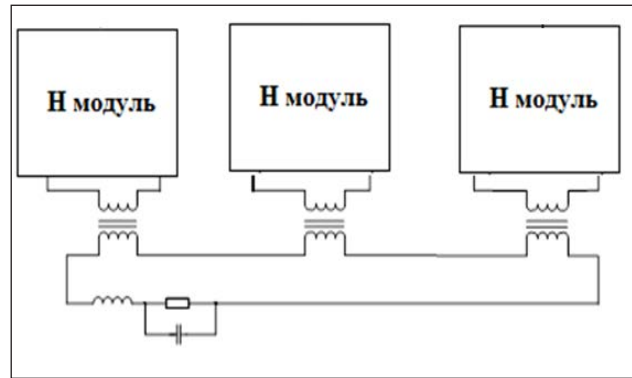


Рис. 2. Структурна схема БРІ на базі уніфікованих N-модулів

Описаний вище спосіб здійснює синтез багаторівневої напруги на інтервалі  $T/4$ . Для формування напруги на всьому періоді використовується схема системи керування, представлена на рис. 3.

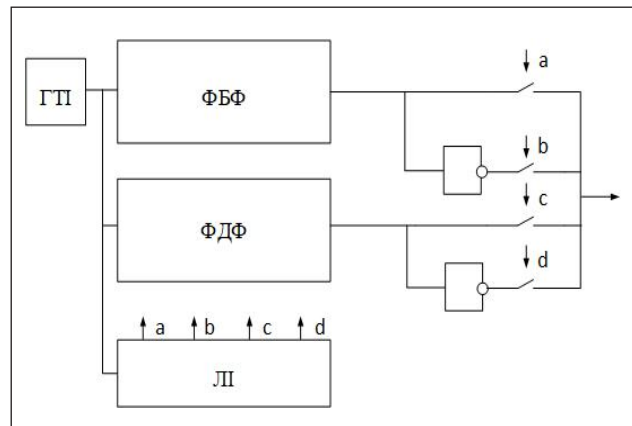


Рис. 3. Система керування: ГПІ – генератор тактових імпульсів; ФБФ – формувач  $i$ -ї базисної функції на інтервалі  $T/4$ ; ФДФ – формувач дзеркальної  $i$ -ї функції на інтервалі  $T/4$ ; ЛІ – лічильник інтервалів

Керуючий сигнал для  $i$ -го модуля формується згідно з виразом:

$$U_{control} = \left\{ \begin{array}{l} \varphi_r(i, t), 0 \geq t > \frac{T}{4} \\ \varphi_r(i, \frac{T}{4} - t), \frac{T}{4} \geq t > \frac{T}{2} \\ -\varphi_r(i, t - \frac{T}{2}), \frac{T}{2} \geq t > \frac{3T}{4} \\ -\varphi_r(i, \frac{3T}{4} - t), \frac{3T}{4} \geq t > T \end{array} \right\} \quad (4)$$

де  $\varphi_r(i, t)$  –  $i$ -та базисна функція зворотного спектрального перетворення ОБ або Хартлі.

Реалізація керуючого сигналу здійснюється таким чином:

– на першій чверті періоду блоком ФБФ у разі замикання ключа  $a$  (див. рис. 3);

- на другій третій четверті періоду – блоком ФДФ у разі замикання ключа  $c$ ;
- на третій чверті – блоком ФБФ і логічним елементом інвертора у разі замикання ключа  $b$ ;
- на четвертій чверті – блоком ФДФ і логічним елементом інвертора у разі замикання ключа  $d$ .

Зазначимо, що аналогічно здійснюється формування ступінчатого струму інверторними модулями, але замість додавання напруг у загальному контурі (див. рис. 2) використовується додавання струмів комірок у загальному вузлі.

Застосування функцій перетворення при  $N = 9$ . За умови зберігання позитивних властивостей базисних функцій, визначених на інтервалі, кратному 3, можливо збільшувати кількість комірок інвертора шляхом зміни показника степеню  $n$  у виразі  $N = m^n$ . Так, при  $n = 2$ ,  $N = 3^2 = 9$  вектор вихідної напруги визначається як:

$$U_{вих} = \begin{pmatrix} 0.044 \\ 0.216 \\ 0.383 \\ 0.537 \\ 0.676 \\ 0.793 \\ 0.887 \\ 0.954 \\ 0.991 \end{pmatrix}$$

де значення вектора  $U_{вих}$  відповідають значенням синусоїдальної функції при  $t_i = \left(\frac{iT}{4N}\right) + \frac{T}{8N}$ , де  $T$  – період,  $0 = 1, 2, N-1$ . Матриці прямого та зворотного ОБ перетворення мають вигляд:

$$F_d = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 \\ 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 \\ 1 & 1 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & -2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$F_r = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Значення коефіцієнтів трансформації визначається формулою:

$$K = \frac{1}{N} \cdot F_d \cdot U = \begin{pmatrix} 0.609 \\ -0.006 \\ -0.113 \\ -0.06 \\ 0.027 \\ -0.016 \\ -0.335 \\ -0.023 \\ -0.039 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Синтез ступінчастої напруги  $U_c$  відбувається додаванням напруг модулів, що відповідають базисним функціям зворотного перетворення, з розрахованими коефіцієнтами  $K$ .

Ступінчаста напруга описується виразом

$$U_c = F_r \cdot K \quad (8)$$

Запишемо вихідну напругу у вигляді поліному:

$$U_c(t) = 0.609\phi_r(0,t) - 0.006\phi_r(1,t) - 0.113\phi_r(2,t) - 0.06\phi_r(3,t) + 0.027\phi_r(4,t) - 0.016\phi_r(5,t) - 0.0335\phi_r(6,t) - 0.023\phi_r(7,t) - 0.039\phi_r(8,t) \quad (9)$$

де  $\phi_r(i,t), i=0,1,\dots,8$  – базисні функції зворотного ОБ-перетворення, що відповідають  $i$ -м рядкам матриці  $F_r$  та реалізуються  $i$ -м інверторним модулем.

Доведемо справедливність такого представлення. Підставимо у вираз (8) значення  $K$  з виразу (7). Тоді отримаємо:

$$U_c = F_r \cdot K = \frac{1}{N} \cdot F_d \cdot F_r \cdot U_{вих}$$

З урахуванням взаємної ортогональності функцій прямого та зворотного перетворень [7]:

$$\frac{1}{N} \cdot F_d \cdot F_r = I$$

де  $I$  – одинична матриця розмірністю  $N \times N$ , отримаємо:

$$U_c = U \quad (10),$$

тобто синтезована таким чином напруга відповідає заданій.

Узагальнене перетворення при  $N = 6$ . Ступінчаста напруга у цьому разі описується виразом:

$$U_c = Y_r \cdot K = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0.638 \\ -0.264 \\ -0.162 \\ -0.073 \\ -0.015 \\ -0.006 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Значення КНС для ступінчастої напруги за способом узагальненого перетворення в орієнтованому базисі, яка описується формулою (8), дорівнює 4,3%.



Вираз (8) можна спростити, щоб зменшити число інверторних модулів.

Нехтуючи найменшими трьома останніми рядками у виразі (8), отримаємо значення КНС 15,2%. При нехтуванні двома рядками це значення складе 8,6%, одним рядком – 5%. Розрахунки показують, що, з погляду стандартів якості, достатньо використовувати схему з 5 інверторними модулями.

У табл. 1 наведено значення КНС для різних перетворень при нехтуванні найменшими членами поліному. Так, значення КНС для ОБ-перетворення за кількості комірок 9 відповідає 1,215, а за кількості комірок 3 – 6,9%.

Таблиця 1

Кількість комірок	ТНД, % для різних перетворень			
	Уолша	Хартлі	ОБ	Узагальнене ОБ
3	26	22	6,9	15,2
4	10		4	8,6
5			3,9	5
6			2,6	4,3
9			1,215	

Як видно з табл. 1, найкращі показники якості забезпечують способи формування ступінчатої

напруги на основі ОБ і узагальненого ОБ перетворень.

**Висновки.** Формування вихідної напруги багаторівневого інвертора на базі ортогональних перетворень дискретних функцій у полях Галуа забезпечує такі переваги:

– можливість використання недорогих стандартних низьковольтних електронних компонентів, що забезпечує максимальну економічну ефективність;

– низький рівень гармонічних спотворень вихідної напруги.

Використання перетворень ОБ та узагальненого ОБ для синтезу схеми інвертора забезпечує більш низький рівень нелінійних спотворень вихідної напруги порівняно з перетвореннями Уолша і Хартлі. Найменший показник КНС отримано для функцій ОБ-перетворення для схеми з 9 модулями (1,215%) та узагальненого ОБ-перетворення з 6 модулями (4,3%), але для більшої економічної ефективності рекомендується перетворювач із 4 інверторними модулями, що реалізують базисні функції ОБ, у якому показник гармонічних спотворень (4%) відповідає стандартам якості електроенергії.

#### Список літератури:

1. Макаров М.Н., Хайбрахманов Р.Г. Многоуровневые инверторы напряжения. Обзор топологий и применение. Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 134–138.
2. Khomfoi S., Tolbert L.M. Multilevel Power Converters. Power Electronics Handbook. 2007. № 22. P. 451–482.
3. Журавлев Ю.И., Флеров Ю.А., Вялый М.Н. Дискретный анализ. Основы высшей алгебры. Москва, 2007. 224 с.
4. Солодовников А.И. Анализ и синтез статических преобразователей частоты с использованием ортогональных базисов: дисс. ... канд. тех. наук. Киев. 1979. 385 с.
5. IEC 61000-3-2:2014 Electromagnetic compatibility (EMC). URL: <https://webstore.iec.ch/publication/4149>.
6. Терещенко Т.А., Беженар В.А. Формирование выходного напряжения многоуровневого инвертора на базе ортогональных преобразований. Технічна електродинаміка. 2012. № 2. С. 51–52.
7. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Дискретные спектральные преобразования на конечных интервалах. Киев: НТУУ «КПИ», 2010. 244 с.
8. Peng F. Z., Lai J. S. Multilevel Cascade Voltage-source Inverter with Separate DC source: U.S. Patent 5 642 275. June 24, 1997.

#### ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО КАСКАДНОГО ИНВЕРТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ В ПОЛЯХ ГАЛУА

*Предложен способ формирования выходного напряжения многоуровневого каскадного инвертора на базе ортогональных преобразований дискретных функций  $m$ -ичного аргумента в полях Галуа. Проведена оценка преимуществ и недостатков полученных схем инверторов с точки зрения коэффициента нелинейных искажений. Приведены обобщенный порядок синтеза напряжения с амплитудно-импульсной модуляцией и обоснован выбор количества инверторных модулей.*

**Ключевые слова:** многоуровневый инвертор напряжения, ортогональные преобразования, дискретные функции, поле Галуа, модульная структура.

**FORMATION OF OUTPUT VOLTAGE OF A MULTI-LEVEL  
CASCADE INVERTER WITH USE OF FUNCTIONS IN THE GALOU FIELDS**

*A method for forming the output voltage of a multilevel cascade inverter based on orthogonal transformations of discrete functions of the  $m$ -th argument in Galois fields is proposed. The advantages and disadvantages of the inverter circuits obtained from the point of view of the nonlinear distortion coefficient are estimated. The generalized order of voltage synthesis with amplitude-pulse modulation is presented and the choice of the number of inverter modules is justified.*

**Key words:** multilevel voltage inverter; orthogonal transformations, discrete functions, Galois field, modular structure.

# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 004.891

**Барановський Д.М.**

Вінницький національний технічний університет

**Якубовська С.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Зленко О.С.**

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

**Павлов В.С.**

Вінницький національний технічний університет

**Чернишова Т.А.**

Медичний центр авіаційного університету, м. Київ

**Криворучко І.О.**

Вінницький національний технічний університет

## СУЧАСНІ ЗАСОБИ І ПРИСТРОЇ ДЛЯ ТЕЛЕМОНІТОРИНГУ ЖИТТЄВИХ ФУНКЦІЙ ЛЮДИНИ: СТАН ПРОБЛЕМИ

*У статті проведено аналіз сучасних засобів і пристроїв для мобільної діагностики й телемоніторингу життєвих функцій людини. Досліджено функціональність пристроїв і їх відповідність технічним характеристикам. У результаті аналізу отриманих даних з пристроїв виявлено невисоку точність вимірювань, не достатню для застосування в медицині.*

**Ключові слова:** телеметричний моніторинг, базові функції, носимі пристрої, життєві функції людини.

**Постановка проблеми.** Останніми роками спостерігається стрімке зростання кількості пристроїв для мобільної медицини – від планшетів і смартфонів до спеціалізованих пристроїв (фітнес-трекерів, годинників, кнопок життя тощо). Розвиток мобільного зв'язку досяг глобальних масштабів, а мобільні мережі охопили понад 85% населення світу. При цьому технічні можливості мобільних пристроїв постійно збільшуються, що робить їх ефективною платформою створення програм і додатків для діагностики й моніторингу життєвих функцій людини, який необхідний у багатьох випадках: контроль стану організму; спостереження за хворим у процесі його лікування; виявлення симптомів у людей з груп ризику, спортивній медицині тощо. Саме на вирі-

шення наявних проблем й орієнтовані мобільні портативні засоби та додатки для дистанційного телеметричного моніторингу [1].

**Постановка завдання. Мета статті** – проаналізувати сучасні засоби і пристрої для мобільної діагностики й телемоніторингу життєвих функцій людини; дослідити функціональність пристроїв і їх відповідність технічним характеристикам.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** За допомогою мобільних пристроїв пацієнти можуть контролювати свій стан здоров'я протягом тривалого проміжку часу, а лікарі – аналізувати його та поведінку пацієнтів, характер їхніх фізичних навантажень. Наприклад, браслети Fitbit Flex і Jawbone's Up24, які своїм призначенням допомагають людям бути здоровішими: частіше

рухатись, вчасно прокидатись, правильно харчуватись, бути більш активними [2].

Мобільний пристрій допомагає контролювати рівень цукру в крові завдяки глюкометрам з убудованими Bluetooth та audio-jack інтерфейсами. Такі пристрої можуть бути автономними з убудованою пам'яттю і джерелом живлення, спеціальними гаджетами, що працюють лише в парі з мобільним телефоном. Спеціальний мобільний додаток збирає дані з глюкометрів і проводить аналіз стану пацієнта-користувача, нагадуючи про необхідність ін'єкції інсуліну [1].

Носимі пристрої здатні забезпечити безперервний моніторинг стану людини, збирати дані самостійно, без додаткової потреби з боку користувача, ініціалізації вимірювання, що відкриває нові можливості для глибокого аналізу медичних даних, виявлення причин зміни, діагностики і прогнозування стану людини [2].

Мобільна охорона здоров'я є компонентом електронної охорони здоров'я, яка на теперішній день ще не має стандартизованого визначення. Проте глобальна обсерваторія з електронної охорони здоров'я, за результатами власних досліджень, дала таке визначення: мобільна охорона здоров'я – це лікарська практика і практика загальної охорони здоров'я, яка підтримується пристроями мобільного зв'язку, а саме: мобільними телефонами, пристроями для спостереження за станом хворих, КПК (кишеньковими персональними комп'ютерами) та іншими пристроями бездротового зв'язку – і включає в себе використання й капіталізацію основних інструментів мобільного телефону – голосового зв'язку і служби коротких повідомлень (SMS), більш потужних функціональних засобів і додатків, включаючи систему пакетного радіозв'язку загального використання (GPRS), мобільні системи зв'язку 3-го й 4-го поколінь (системи 3G і 4G), глобальну навігаційну супутникову систему (GPS) і технологію Bluetooth [3].

У складних системах медичного призначення для отримання необхідної інформації використовують одразу декілька сенсорів і давачів. Точність і надійність такої інформації визначає ефективність роботи всієї системи, що, у свою чергу, безпосередньо впливає на процес лікування пацієнта. Наприклад, убудовані в сенсор мікроконтролери дають змогу обробляти інформацію від первинних вимірювальних перетворювачів, забезпечуючи кращу точність і достовірність аналізованої інформації [4].

Зазвичай діагностичні параметри, що використовують у медичній практиці лікарі, засновані

на багаторічних спостереженнях і мають середньостатистичний характер. Статистичний підхід, як відомо, оперує з усередненими показниками, які мають великий розкид, що не дає достовірно оцінити стан конкретної людини. Через великі обсяги вхідних даних лікарю важко виділити найбільш значимі критерії та оцінки функціонального стану людини. Завдання формування сукупності найбільш значимих показників у своїй більшості вирішується висококваліфікованими спеціалістами на інтуїтивному рівні, коли лікар-експерт зараховує функціональний стан організму людини до певного класу, визначивши характер лікування [5].

Функціональна діагностика людини спрямована на виявлення захворювань, запобігання захворюванням або лікування їх і повинна проводитись настільки часто, наскільки це необхідно. Однак значна частина населення не має ні достатньої кількості часу, ні достатку, необхідного для регулярної стаціонарної діагностики в медичних установах. У такій ситуації якісним рішенням видається дистанційний моніторинг стану здоров'я людини, який дає їй змогу проходити обстеження, не порушуючи свій розпорядок життя, без значної втрати часу на відвідування стаціонару й проведення обстеження, що є для неї достатньо комфортним і зручним в умовах сучасного життєвого ритму [6].

Серед множини функціональних параметрів одними з найважливіших показників стану людського організму є параметри серцевої діяльності й дихання. Згідно зі статистикою, захворювання серцево-судинної системи – одні з найбільш поширених серед популяції [6], що завдають найбільшої шкоди кількості світового населення. Наприклад, у Європі, за статистикою за 2009 рік, із цієї причини зафіксовано близько 50% усіх смертельних випадків, а загальна кількість померлих від серцево-судинних захворювань становила близько 7,1 млн. людей (1,4 млн. у розвинених країнах і 5,7 млн. у регіонах, що розвиваються), тобто близько 30% від загальної смертності [7]. Про порушення серцево-судинної системи можна судити за пульсом, а маркерами стану дихальної системи слугують параметри її функціонування [6].

Існує значна кількість систем амбулаторної функціональної діагностики, що забезпечують тривалу (більше ніж 1 хвилина) реєстрацію різних фізіологічних даних людини, зокрема респіраторних і кардіологічних, подальше оброблення та аналіз яких медичними фахівцями здійснюється

як дистанційно, так і за принципом «особисто в руки». Варто врахувати, що під час амбулаторного лікування саме тривалий моніторинг забезпечує високу діагностичну цінність, так як дає змогу оцінити динаміку стану людини [6].

Збирання або реєстрація даних у моніторних системах засновані на перетворенні сигналів, що відображають функціонування фізіологічних систем у форму, зручну для подальшого оброблення та аналізу. Фізіологічні параметри можуть бути визначені безпосередньо як фізичні величини, що вимірюються, наприклад, температура, тиск, біоелектричні потенціали, або як величини, що характеризують взаємодію фізіологічних процесів організму з фізичними полями [6].

Подальший аналіз даних включає первинне оброблення біоелектричних сигналів з давачів, їх підсилення, фільтрацію завад, аналого-цифрове перетворення тощо. Одним із варіантів такого аналізу даних є пороговий контроль поточних значень фізіологічних параметрів з включенням тривожної сигналізації в разі наближення значень контрольованого параметра до меж заздалегідь заданих діагнозів.

Вторинне оброблення біологічних сигналів, аналіз даних у моніторних системах ведеться за допомогою засобів мікропроцесорної техніки, яка надає великі можливості щодо реалізації складних діагностичних алгоритмів оброблення фізі-

ологічної інформації, зокрема проведення спектрального, статистичного, регресійного тощо методів математичного аналізу. Цифрове оброблення сигналів у сучасних моніторах дає змогу провести складний аналіз фізіологічної інформації в реальному часі, що призводить до зниження впливу артефактів, що виникають під час реєстрації сигналів [8].

Недоліками більшості сучасних носимих пристроїв є не завжди коректне або неповне керівництво з експлуатації, невідповідність фактичних технічних характеристик паспортним, неповне зняття даних, відображення даних у ненормованих одиницях, відсутність можливості коригування помилок, відсутність GPS у більшості пристроїв, малий час роботи від акумулятора тощо.

Серед базових функцій і вимог, що висуваються до носимих пристроїв для телеметричного моніторингу життєвих функцій людини, можемо відзначити такі:

- 1) час роботи (для комфортного користування має бути не менше ніж 1-го тижня);
- 2) можливість автономної роботи (тобто можливість роботи без підключення до смартфона або серверів компанії);
- 3) висока точність вимірювань (пульс, крокомір, детектор падіння);
- 4) регулярне оновлення програмного забезпечення;

Таблиця 1

**Аналіз відповідності базовим вимогам засобів і приладів для телеметричного моніторингу (д. а. – додаткові аксесуари)**

Назва	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jawbone UP	10 дн.	-	-	+	-	+	+	-	-	-	1599 грн
Jawbone UP 24	10 дн.	-	-	+	+	-	+	+	-	+/-	1599 грн
Jawbone UP3	7 дн.	-	-	+	+	-	+	+	-	+	1999 грн
Samsung Gear Fit	2 дн.	+	-	-	-	-	+	-	-	IP67	2195 грн
Sony Smart Band SWR10	5 дн.	-	-	-	+	-	+	-	-	IP58	1199 грн
Polar Loop	5 дн.	+	+(д.а.)	-	+	-	+	+	-	WR20	2469 грн
Garmin Vivofit	до 1 р.	+	+	+	+	-	+	-	-	WR50	2457 грн
Nike FuelBand SE	4 дн.	-	-	+	+	-	+	-	-	WR20	1820 грн
Misfit Shine	до 4 м.	+/-	-	+	+	-	+	-	-	WR50	1880 грн
Fitbit Flex	5 дн.	-	-	+	+	-	+	+	-	WR30	2799 грн
iHealth AM3	5 дн.	+	+	+	+	-	+	-	-	WR20	1400 грн
Mio Fuse	5 дн.	+	+	-	+	-	+	+	-	WR20	2670 грн
Microsoft Band	2 дн.	+	-	+	+	-	+	-	+	+	7047 грн
Xiaomi Mi Band	від 1 м.	-	-	+	+	-	+	+	-	IP67	303 грн
Xiaomi Mi Band 2	20 дн.	+	+	+	+	-	+	+	-	+	699 грн
Runtastic Orbit	7 дн.	-	-	+	+	-	+	+	-	-	2750 грн
Fitbit Surge	7 дн.	+	+	+	+	-	+	+	+	+	3200 грн
LG Lifeband Touch	5 дн.	-	-	-	+	-	+	+	-	-	2000 грн
Emergency Watch	2 м.	+	-	-	+	+	+	+	+	-	6660 грн

5) зручність використання, особливо для людей похилого віку;

6) прозорість (інформаційна відкритість процесів управління збиранням та обміном інформації) [9];

7) збереження інформації;

8) технологічна нейтральність та адаптивність (підтримка сторонніх технологій, протоколів обміну даними) [9];

9) точність і швидкість визначення місцезнаходження (наявність GPS);

10) збереження працездатності в агресивних умовах використання (ударостійкість, водонепроникність);

11) вартість.

У таблиці 1 згруповано результати аналізу літературних джерел за темою статті, які дають розгорнуту картину відповідності результируючих засобів вищенаведеним базовим вимогам.

Дані таблиці 1 свідчать також про те, що проблеми в роботі виникають у більшості пристроїв, а саме 15 з 19 проаналізованих. Водночас автономність роботи приладів знаходиться на високому рівні. Усі розглянуті пристрої телеметричного моніторингу можна використовувати як дистанційний реєстратор даних завдяки наявності вбудованої пам'яті і зчитувати їх у будь-який зручний момент. Хоча сучасні технології й дають змогу виготовляти мобільні монітори життєвих функцій людини достатньо мініатюрними, це не завжди доцільно, оскільки погіршує їх основну характеристику – точність вимірювання показників. Саме через наявність зазначеного недоліку більшість проаналізованих приладів і додатків рекомендується лише для домашнього, так званого індикативного, контролю. Усунути його можемо шляхом використання мобільних SMART – платформ для розв'язання завдань мережної діагностики й моніторингу стану людини, що сприяє впровадженню цих додатків і в медичну галузь [1].

Розробка та випуск оновлених версій програмного забезпечення є більш ефективними,

ніж запуск нового модельного ряду пристроїв, тому частина виробників, які вже випустили декілька моделей, більше уваги приділяють їх підтримці.

У більшості вищенаведених пристроїв відсутній контроль прозорості обміну даними. Можливо, це зроблено для збереження приватної таємниці, але практично всі мобільні додатки повідомляють користувача про збирання, передачу і прийом даних, маючи водночас приховану функцію відмикнення контролю даних. Технологічна нейтральність та адаптивність зазвичай рідко реалізуються в пристроях моніторингу, що вигідно розробнику та не вигідно користувачу. Розробнику вигідно тим, що він обмежує роботу пристрою лише з його власним програмним забезпеченням і на зручних йому платформах, хоча його нормальна робота при цьому не гарантується [9].

Точність і швидкість визначення місцезнаходження власника смартфона або пристрою дуже важлива в теперішній час, оскільки збільшує точність показників мобільних медичних додатків і дає змогу підвищити ступінь функціональності до рівня додатка «Кнопка життя» з автоматичним викликом швидкої медичної допомоги, автоматичною побудовою пройдених маршрутів тощо.

**Висновки.** Отже, незважаючи на досить велику кількість пристроїв для моніторингу життєвих функцій людини, досить складно виділити з них такі, що повною мірою відповідають сукупній вимозі комфортності, надійності, функціональності, точності вимірювань, тривалості роботи, достатньої для повсякденного використання тощо. Годинники з давачами пульсу не завжди точно вимірюють пульс, хоча й забезпечують комфортне представлення вимірюваних результатів. Викликає тривогу неконтрольована експансія різноманітних носимих пристроїв, орієнтованих на моніторинг фізіологічних показників, таких, що не відповідають вимогам сучасних експертів у галузі медичного електронного приладобудування.

#### Список літератури:

1. 10 гаджетов, помогающих следить за здоровьем с помощью смартфона. URL: <https://geektimes.ru/post/269842/> (дата звернення 20.01.2018).

2. Chaffey D. Mobile Marketing Statistics compilation. URL: <http://www.smartinsights.com/> (дата звернення 12.03.2016).

3. Мобильное здравоохранение. Новые горизонты здравоохранения через технологии мобильной связи: доклад о результатах второго глобального обследования в области электронного здравоохранения / Всемирная организация здравоохранения. 2011. Т. 3. С. 6.

4. Власенко Д.В., Дубко А.Г. Розробка спрощених моделей точності та надійності сенсорів тиску та температури на основі теорії планування експерименту. Вітчизняні інженерні розробки для охорони здоров'я. Київ, 2016. С. 28.

5. Математичні моделі і методи оцінки функціонального стану людини. URL: <http://www.dslib.net/mat-modelirovanie/matematicheskie-metody-i-modeli-ocenki-funkcionalnogo-sostojaniya-cheloveka-i-ih.html> (дата звернення 18.01.2018).

6. Гайдуков В.С., Тараканов С.А., Кузнецов В.И., Подольский М.Д. Преимущества амбулаторной экспресс-диагностики состояния сердечнососудистой и дыхательной систем человека на примере телеметрической системы удаленного онлайн-мониторинга кардиореспираторных параметров пациентов. Врач и информационные технологии, ИТ и диагностика. 2013, С. 37.

7. The European health report 2012: charting the way to well-being. Executive summary. World Health Organization, 2013. 15 p.

8. Eliman. URL: [www.eliman.ru/Lit/AMCM/2.html](http://www.eliman.ru/Lit/AMCM/2.html) (дата звернення 20.01.2018).

9. Кузнецов П.П., Шелехов П.В. Мобильная медицина: интеграция данных с приложений и устройств mHealth и IOT (обзор). ЗАО Изд. «Рдиотехника», 2015. 56 с.

### **СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТЕЛЕМОНИТОРИНГА ЖИЗНЕННЫХ ФУНКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

*В статье проведен анализ современных средств и устройств для мобильной диагностики и телемониторинга жизненных функций человека. Исследованы функциональность устройств и их соответствие техническим характеристикам. Анализ полученных данных показал, что ни одно из устройств не дает точности измерений достаточной для использования в медицине.*

**Ключевые слова:** телеметрический мониторинг, базовые функции, носимые устройства, жизненные функции человека.

### **MODERN MEANS AND DEVICES FOR TELEMONITORING OF VITAL SIGNS OF THE PERSON: CONDITION OF A PROBLEM**

*In work the analysis of modern means and devices for diagnostics and telemonitoring of vital signs of the person was carried out. It is investigated functionality of devices, and compliance to technical characteristics. As a result of the analysis of the obtained data from devices, it was revealed that any of them doesn't yield desirable result and high precision of measurements sufficient for use in medicine.*

**Key words:** telemetric monitoring, basic functions, wearable devices, vital signs of the person.

УДК 621.3.396.6

**Єфіменко А.А.**

Одеський національний політехнічний університет

**Карлангач О.П.**

Одеський національний політехнічний університет

**Сконечний В.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ МОДУЛІВ ІЗ ГНУЧКОЮ СТРУКТУРОЮ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

*У статті представлено метод проектування електронних модулів першого рівня на основі друкованих плат для підвищення компоувальних характеристик і функціональної ємності радіоелектронної апаратури (РЕА). Метод передбачає збільшення кількості типорозмірів друкованих плат стосовно стандартних без збільшення типорозмірів елементів несучих конструкцій для електронних модулів другого і третього рівнів. Збільшення загальної кількості типорозмірів друкованих плат при використанні стандартних несучих конструкцій дає можливість більш раціонально підходити до вибору розмірів друкованих плат, покращуючи компоувальні характеристики РЕА. Метод може використовуватися при рішенні інших задач визначення розмірів друкованих плат у РЕА, коли відомі розміри площини, де потрібно розмістити функціонально-закінчені електронні модулі на основі друкованого монтажу. Розроблено алгоритм, призначений для поділу типорозмірів друкованих плат на субтипорозміри з оптимізацією їх структури та розмірів.*

**Ключові слова:** друкована плата, електронний модуль, несуча конструкція, оптимізація розмірів, метод конструювання, алгоритм поділу.

**Постановка проблеми.** Розробка РЕА з використанням модулів 1, 2 і 3-го рівнів повинна виключати необхідність збільшення числа типорозмірів деталей і складальних одиниць несучих конструкцій (далі – НК) при збільшенні номенклатури спроектованої на її базі апаратури. Типорозміри модулів одного рівня вибираються таким чином, щоб для їх побудови могли застосовуватися уніфіковані деталі та кожний наступний типорозмір модуля виходив нарощуванням попередніх без порушення кратності основних розмірів. Наприклад, для модулів 1-го рівня нарощування можна проводити з певним кроком по ширині, але по висоті повинна бути дотримана кратність, тому що в іншому випадку виникне велике число типорозмірів модулів 2-го і 3-го рівнів. Недотримання такого принципу призводить надалі при проектуванні РЕА до великого різноманіття деталей і складальних одиниць НК вищих рівнів ієрархії і неможливості отримання всіх переваг від їх впровадження.

З іншого боку, розвиток елементної бази постійно спонукає розробників РЕА шукати нові конструк-

тивні та технологічні рішення, особливо це стосується НК і, у першу чергу, НК першого рівня ієрархії – друкованих плат (далі – ДП). Це пов'язане з тим, що зменшення розмірів електронних компонентів (далі – ЕК) і підвищення рівня інтеграції мікросхем неодмінно впливає на зменшення розмірів електронних модулів (далі – ЕМ) при використанні функціонально-модульного методу їх проектування.

Задача вибору оптимальних розмірів ДП і відповідно друкованих вузлів є актуальною і вирішуваною шляхом урахування багатьох факторів, у тому числі передбачається наявність значної кількості типорозмірів ДП. Але, коли діло доходить до вибору розмірів ДП, більшою частиною зі стандартного набору, то тут оптимізація може взагалі не дати ніякого результату, оскільки набір типорозмірів достатньо обмежений [1-4]. І це стратегічно правильно, тому що велика кількість типорозмірів ДП породжує, як правило, ще більшу кількість НК і ЕМ другого і третього рівнів – касет, секцій, настільних корпусів, стійок, шаф та інших конструктивів, про що мова йшла вище. Це значно



знижує технологічність виробництва електронних модулів, у тому числі централізованого, ускладнює взаємні зв'язки підприємств-партнерів.

У той же час дуже привабливо мати можливість вибору і застосування ДП з розмірами, що є оптимальними для кожного випадку створення РЕА, тобто з більшою кількістю типорозмірів по відношенню до стандартних. У результаті можна отримати значний вигравш у збільшенні функціональної ємності і зменшенні розмірів виробів. При цьому потрібно знайти компроміс між розглянутими суперечностями.

**Метою** роботи є розробка методу проектування ЕМ першого рівня на основі ДП для підвищення їх компоувальних характеристик і функціональної ємності РЕА шляхом збільшення кількості типорозмірів ДП щодо стандартних без збільшення типорозмірів елементів НК для ЕМ другого і третього рівнів.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення цієї задачі пропонується наступний підхід. Кількість типорозмірів ДП для ЕМ першого рівня повинна бути збільшена, але не шляхом збільшення основних (стандартних), а у результаті введення додаткових субтипозмірів ДП для електронних модулів субрівня (рис. 1) [5]. При цьому їх кількість та розміри повинні визначатися у кожному конкретному випадку, відповідати вимогам стандартизації, уніфікації, технологічності, ефективного компоування і бути оптимізовані.

Насамперед пріоритетною складовою для введення додаткових типорозмірів ДП є можливість створення конструктивно та функціонально закінчених ЕМ, розміри яких з розвитком ЕК постійно зменшуються, зі всіма перевагами до уніфікації та спеціалізованого виробництва.

**Метод поділу типорозмірів ДП на субтипозміри**

Передумовою для введення субтипозмірів ДП є ситуація, коли при розробці будь-якого радіоелектронного апарата з використанням стандартної несучої конструкції та функціонально-вузлового методу проектування, типорозміри ДП, що мають, не задовольняють вимогам по ефективному заповненню ДП електронними компонентами чи, інакше кажучи, мають низький коефіцієнт заповнення. Така ситуація здебільшого стосується мінімального стандартного розміру ДП.

Припустимо, що є радіоелектронний пристрій, що складається з  $n$ -ої кількості функціонально-закінчених вузлів, кожен з яких з різних причин, наприклад, з метою уніфікації, повинен бути реалізованим окремим друкованим вузлом (електронним модулем). При виборі для них типорозмірів ДП виявляється, що потрібні розміри менші, ніж стандартні, що є у наявності.

Будемо розглядати ці вузли у ранзі електронних модулів субрівня і розміщувати їх на місці ЕМ стандартного розміру. Проілюструємо це на рис. 2.

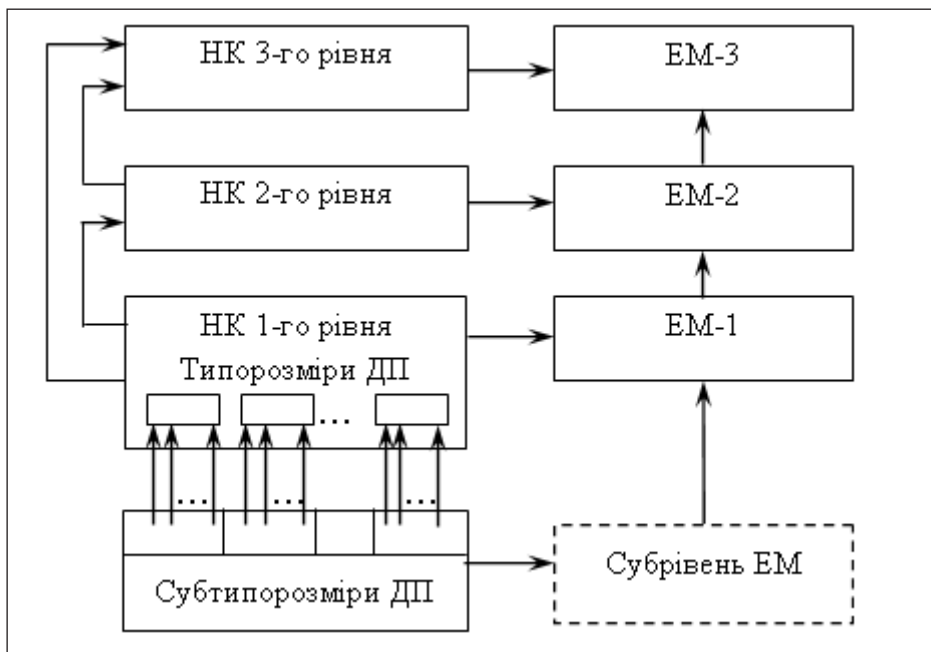


Рис. 1. Структура несучих конструкцій та електронних модулів з додатковими субтипозмірами ДП

Для вибору стандартного типорозміру ДП виконаємо наступні дії:

– визначаємо сумарну установлювальну площу ЕК всього пристрою  $S_{уст}$  (передбачається, що схема електрична принципова, перелік елементів пристрою та його поділ на функціональні частини відомі);

– визначаємо коефіцієнти заповнення стандартних типорозмірів ДП, які можливі для використання у даному випадку:

$$K_{3j} = \frac{S_{устj}}{S_j}, \quad (1)$$

де  $S_j$  – площа  $j$ -ї стандартної ДП;

– вибираємо той типорозмір ДП, для якого коефіцієнт заповнення знаходиться у межах  $0,6 \dots 0,8$  (чи близьким до них). Фіксуємо це значення коефіцієнта заповнення з позначенням  $K_3$ .

Розрахувавши значення установчої площі електронних модулів субрівня  $S_{уст1}, S_{уст2}, \dots, S_{устn}$  та приймаючи те ж значення коефіцієнта заповне-

ння  $K_3$ , можемо визначити площі друкованих плат ЕМ субрівня:

$$S_i = \frac{S_{устi}}{K_3}, \quad (2)$$

Таким чином, задачу поділу площі стандартної ДП на друковані плати субрівня можна навести як

$$S \geq \sum_{i=1}^n S_i. \quad (3)$$

Кінцевим результатом поділу є визначення розмірів друкованих плат – висоти  $H_i$  і ширини  $D_i$ . При цьому слід мати на увазі, що для однієї площі можливо отримати множину типорозмірів для кожної плати. Відповідно до цього виникають різні варіанти об'єднання ДП у межах стандартної (рис. 2), що відрізняються компоновальними характеристиками.

Виникає завдання оптимізації розмірів ДП субрівня і встановлення таких обмежень, що разом дозволить виконати поділ стандартної ДП з ефек-

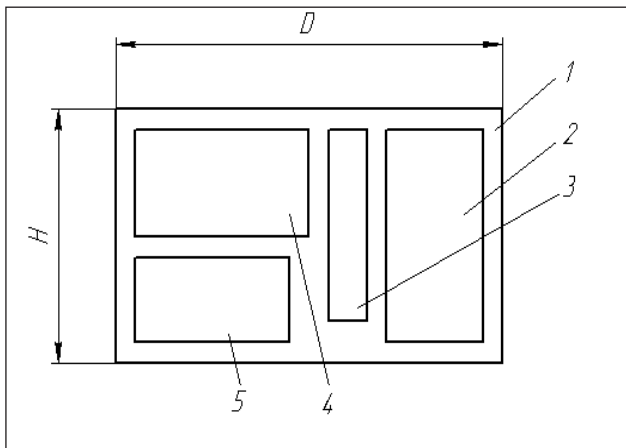


Рис. 2. Поділ друкованої плати 1 стандартного типорозміру на друковані плати 2-5 субтипорозмірів

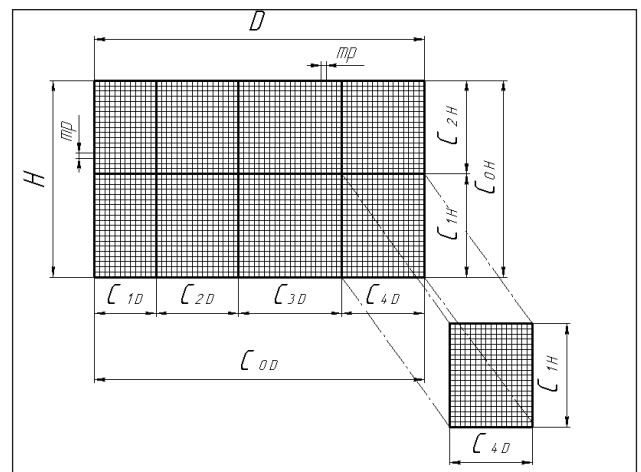


Рис. 3. Приклад поділу стандартної ДП на субтипорозміри

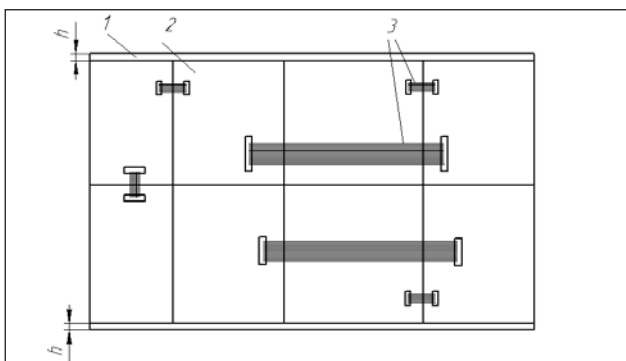


Рис. 4. Спрощена конструкція ЕМ 1-го рівня: 1 – несуча рамка, 2 – друкована плата, 3 – гнучкий друкований кабель

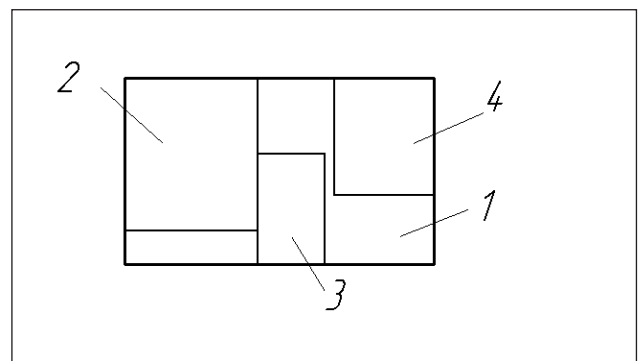


Рис. 5. Приклад поділу ДП на субтипорозміри: 1 – стандартна ДП; 2, 3, 4 – ДП субрівня

тивним використанням площі вихідної ДП, додержанням вимог нормативних документів та якомога спрощеним алгоритмом, який реалізує цей метод.

Задачу визначення розмірів ДП субрівня за відомими значеннями їх площі будемо розглядати як оптимізацію з цільовою функцією, де як критерій використаємо середнє квадратичне відхилення показників компоунування

$$K = \min \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (K_{3i} - K_3)^2} \quad (4)$$

де  $K_{3i}$  – коефіцієнт заповнення друкованих плат субрівня визначеного варіанту компоунування.

Оптимальним варіантом компоунування буде той, в якому відхилення  $K_{3i}$  від встановленого  $K_3$  будуть мінімальними.

Крім того, при визначенні розмірів ДП потрібно дотримуватися відповідних обмежень. Для цього скористаємося стандартом Міжнародної електротехнічної комісії (МЕК) [6], що описує модульний принцип розробки механічних структур.

Відповідно до цього стандарту розмір друкованої плати визначається за наступним співвідношенням

$$C_i = mp \times n_i, \quad (5)$$

де  $mp$  – монтажний крок. Він використовується для розміщення деталей і блоків у заданому просторі [6], у тому числі визначає кратність розмірів друкованих плат;

$n_i$  – цілі числа.

У свою чергу монтажний крок визначається з використанням наступної залежності

$$mp = F \times p, \quad (6)$$

де  $p$  – базисний крок. Для друкованих плат прийнятий рівним 0,5 мм;

$F$  – коефіцієнт [6, табл. 1].

Виходячи з викладеного і того факту, що розміри стандартних ДП у метричній системі (стандарти МЕК серії 917) кратні 5 мм, приймемо монтажний крок рівним  $mp = 0,5 \times 10 = 5$  мм.

Приклад поділу стандартної ДП з розмірами  $D$  і  $H$  на субтипорозміри з використанням модульного принципу наведений на рис. 3.

Тут діють наступні співвідношення для поділу:

$$\begin{aligned} D &= C_{0D} = C_{1D} + C_{2D} + C_{3D} + C_{4D} = \\ &= mp \cdot n_{1D} + mp \cdot n_{2D} + mp \cdot n_{3D} + mp \cdot n_{4D} = \\ &= mp \cdot (n_{1D} + n_{2D} + n_{3D} + n_{4D}) = \\ &= 5 \cdot (n_{1D} + n_{2D} + n_{3D} + n_{4D}); \end{aligned} \quad (7)$$

$$H = C_{0H} = C_{1H} + C_{2H} = 5 \cdot (n_{1H} + n_{2H}). \quad (8)$$

Після поділу стандартної ДП, яка призначена для безпосереднього установлення у конструктив для утворення ЕМ 2-го рівня, виникає питання механічного та електричного з'єднання ДП субрівня зі збереженням установлювальних розмірів.

Воно може бути вирішене з використанням принципів побудови радіоелектронного модуля [7], спрощена конструкція якого наведена на рис. 4.

Один із перспективних способів електричного з'єднання ЕМ субрівня на основі ДП – використання гнучких друкованих кабелів (далі – ГДК). Таким чином, ЕМ субрівня являють собою гнучкожорстку структуру друкованих плат. Використання несучої рамки 1 потребує коригування розмірів друкованих плат 2 на величину  $h$ . Це пов'язано з необхідністю забезпечення вільних місць для установлення ЕМ 1-го рівня в ЕМ 2-го рівня.

При такому підході може бути велика кількість варіантів компоунки стандартної ДП друкованими платами субрівня і головне, що більшість із них будуть мати далекі від оптимальних значення коефіцієнтів заповнення. Це можна стверджувати на основі того, що при укладенні таких плат будуть виникати місця, які неможливо заповнити ДП субрівня, і що приводить до втрат площі (рис. 5). З цієї причини пропонується обмежувати варіанти шляхом установлення схем компоунування. Приклади можливих схем компоунування наведені на рис. 6. При цьому легко, а у деяких випадках однозначно (рис. 6а), встановлювати один із розмірів ДП субрівня.

Встановлюючи співвідношення розмірів  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  (у загальному випадку  $H_k$ , де  $k$  – кількість

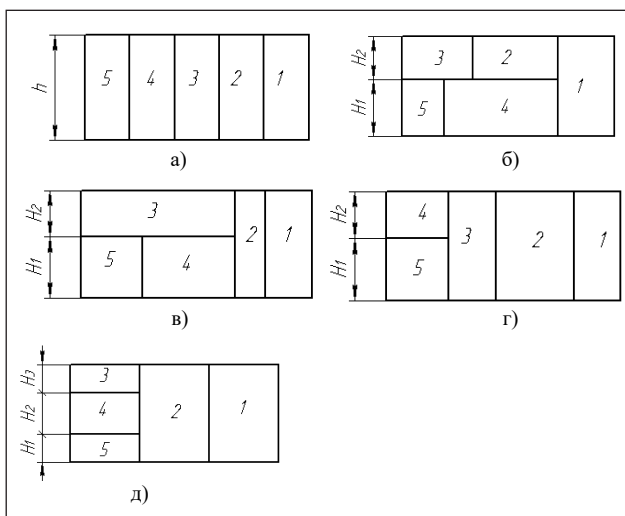


Рис. 6. Варіанти компоунування (а...д) стандартної ДП: 1...5 – друковані плати субрівня

рівнів по висоті), достатньо легко отримати розміри по ширині ДП субрівня, використовуючи співвідношення

$$D_i = \frac{S_i}{H_k} \quad (9)$$

Але це не значить, що для усіх варіантів буде забезпечене компонування, коли всі ДП субрівня будуть розміщені у межах стандартної ДП по ширині, тобто, щоб на всіх рівнях виконувалась умова

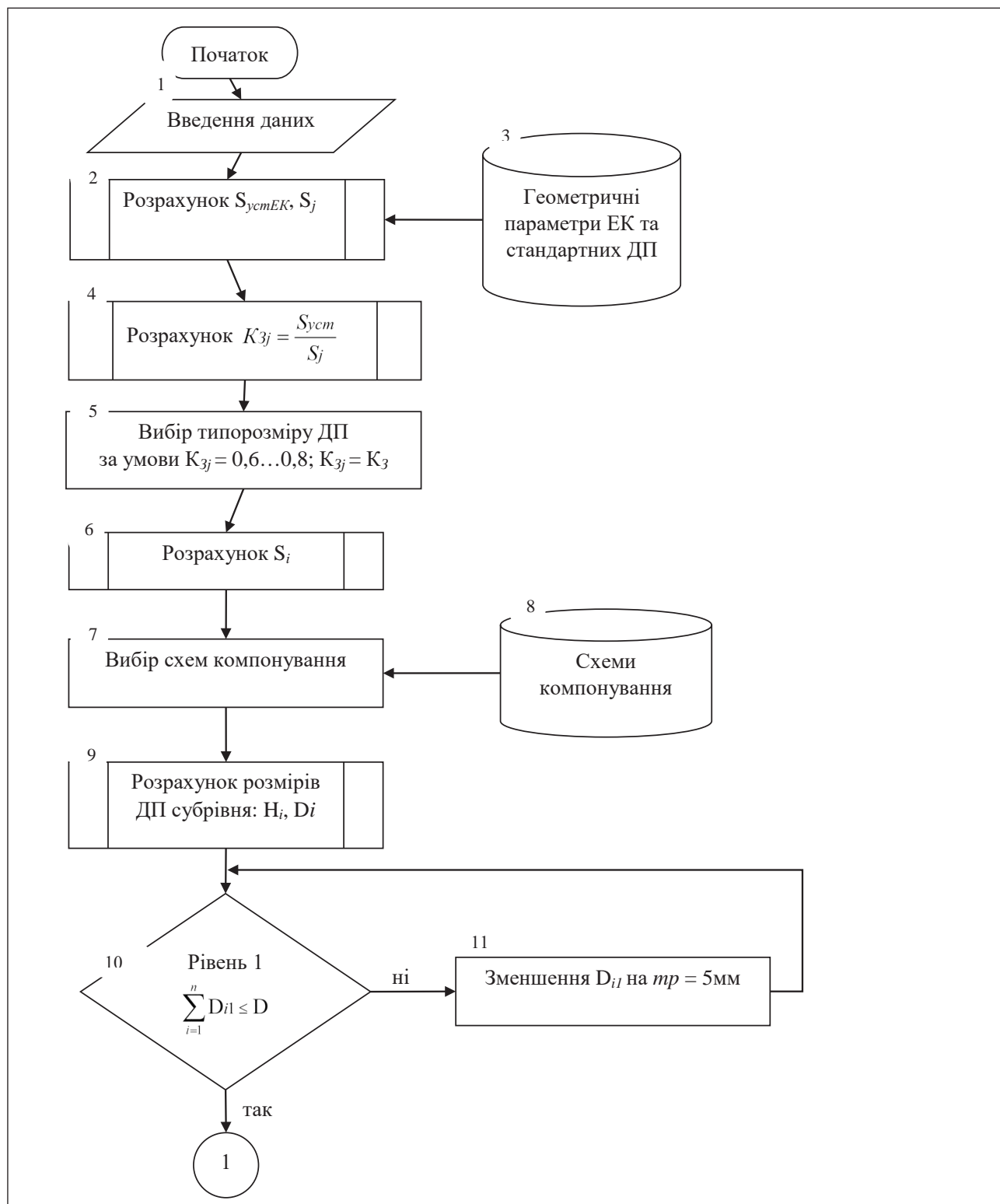


Рис. 7. Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів ДП електронних модулів

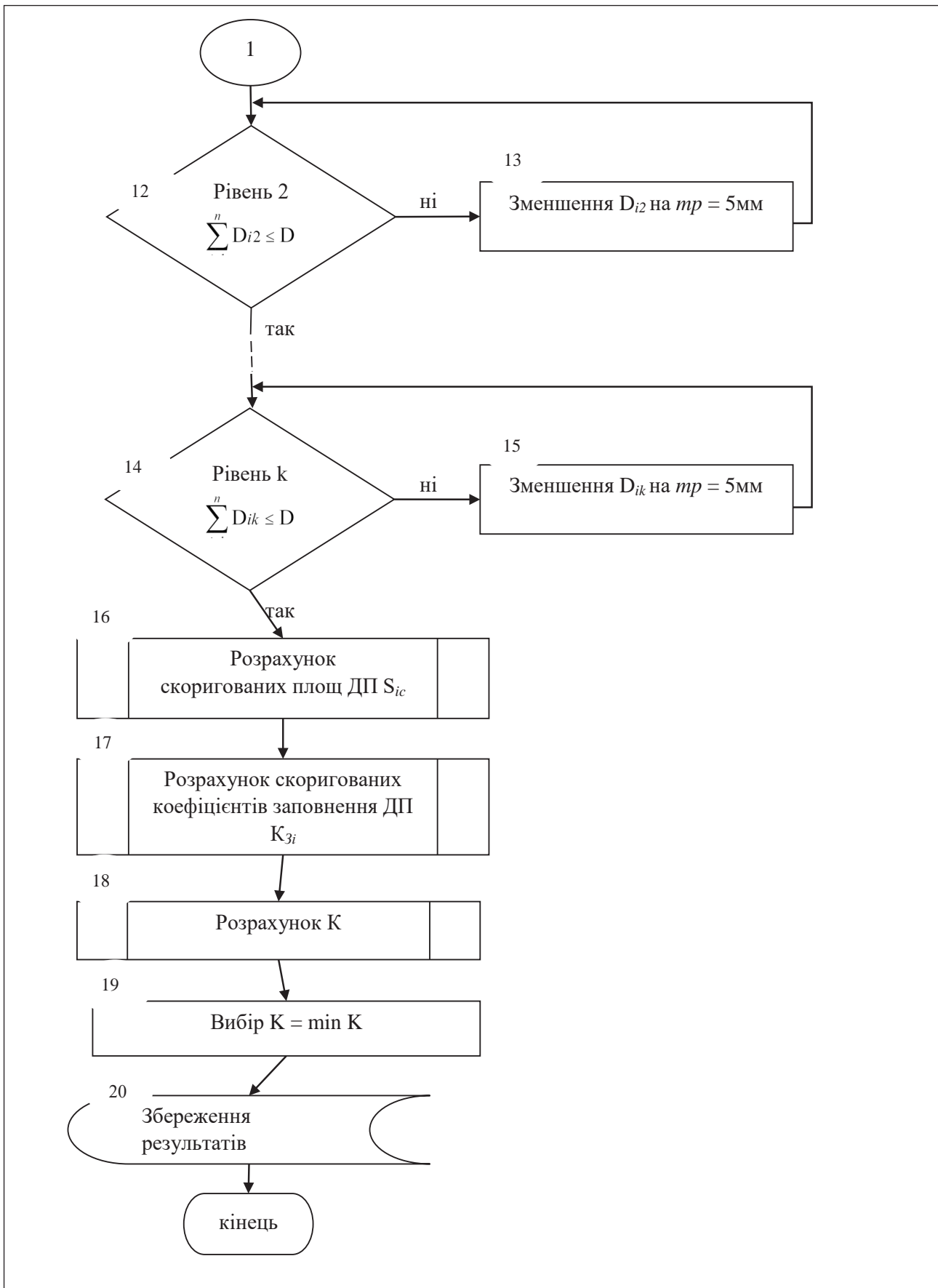


Рис. 8. Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів ДП електронних модулів (продовження рис. 7)

Якщо умова (10) не виконується, потрібно зменшувати розміри  $D_i$ . При цьому буде зменшуватись їх площа  $S_i$  і відповідно збільшуватись коефіцієнт заповнення ДП субрівня  $K_{zi}$  для того, щоб можна було розмістити призначені їм електронні компоненти.

$$\sum_{i=1}^n D_i \leq D. \quad (10)$$

Таким чином, варіанти компоновання (рис. 6) будуть відрізнятися значеннями середнього квадратичного відхилення, що відповідає умові оптимізації у відповідності до (4).

Рішення задачі поділу стандартних ДП на друковані плати з субтипорозмірами можливо реалізувати різними алгоритмами. Нижче приведений алгоритм, який відповідає описаному вище методу поділу.

Алгоритм рішення задачі поділу ДП на субтипорозміри

Блок-схема алгоритму для визначення субтипорозмірів друкованих плат електронних модулів субрівня приведена на рис. 7, 8. Алгоритм розроблений на підставі описаного вище методу.

**Блок 1.** В якості вихідних даних є схема електрична принципова пристрою, яка розділена на функціонально закінчені вузли. Формально схема є переліком електронних компонентів пристрою, який знову таки структурований за функціональними вузлами, кількість яких указується.

**Блок 2.** Розраховується установлювальна площа кожного ЕК, що входить у перелік елементів  $S_{\text{встЕК}}$ . Як говорилось раніше, це типорозміри ДП, які близькі до мінімальних. Початковими даними для вказаних розрахунків є база даних з геометричними параметрами ЕК та стандартних ДП (Блок 3).

**Блок 4.** Розраховуються коефіцієнти заповнення стандартних друкованих плат, які надані у базі даних, за формулою (1).

**Блок 5.** Потрібно відібрати стандартний типорозмір ДП, який найкращим чином підходить для розміщення пристрою. Умовою для цього є значення коефіцієнта заповнення у межах 0,6...0,8. Якщо для двох чи більше типорозмірів ДП значення  $K_{zi}$  попадає у цей діапазон, то вибирається той типорозмір, для якого значення більше. Вибране значення коефіцієнта заповнення надалі будемо позначати  $K_3$ .

**Блок 6.** Розраховуються площі друкованих плат субрівня з використанням формули (2). При цьому можна стверджувати, що виконується

умова (3), тобто сумарна площа ДП субрівня не перевищує площі стандартної друкованої плати, що поділяється.

**Блок 7.** Вибираються схеми компоновання із наданих у БД (Блок 8).

**Блок 9.** Відповідно до вибраних схем компоновання установлюється висота друкованих плат  $H_k$ , значення яких повинні відповідати залежності (8).

Далі розраховується ширина друкованих плат  $D_i$  за формулою (9). Отримані значення потрібно привести до таких, що кратні  $mp = 5$  мм, що відповідає залежності (7). Як зазначалося раніше, сумарна ширина ДП субтипорозмірів може перевищувати ширину  $D$  стандартної ДП, що недопустимо. Повинна виконуватись умова (10). Відповідно до цього виконуються перевірки (Блоки 10, 12, 14) з корекцією розмірів (Блоки 11, 13, 15).

На кожному наступному рівні не повинні коригуватись розміри, які є загальними для декількох рівнів (наприклад, для рис. 6б установлена ширина плати 1 на першому рівні не повинна коригуватись на другому рівні).

**Блок 16.** Виконується розрахунок площ друкованих плат субрівня за встановленими розмірами  $H_k$  та розрахованими і скоригованими розмірами  $D_{ic}$  для всіх варіантів компоновання

$$S_{ic} = H_k \cdot D_{ic}.$$

**Блок 17.** Для всіх варіантів компоновання розраховуються коефіцієнти заповнення за реальними площами ДП субрівня

$$K_{zi} = \frac{S_{\text{вст}i}}{S_{ic}}.$$

**Блок 18.** За формулою (4) для кожного варіанту компоновання розраховуються значення цільової функції.

**Блок 19.** Вибирається варіант компоновання з мінімальними значеннями цільової функції, який є оптимальним.

**Блок 20.** Для оптимального варіанту компоновання зберігаються значення розмірів друкованих плат субрівня.

**Висновки.** Запропонований метод проектування радіоелектронної апаратури на першому рівні електронних модулів призначений для поділу типорозмірів друкованих плат на субтипорозміри з оптимізацією їх структури та розмірів. Збільшення загальної кількості типорозмірів друкованих плат при використанні стандартних несучих конструкцій дає можливість більш раціонально підходити до вибору розмірів друкованих плат, особливо це стосується функціонально-вузлового методу кон-

струювання, покращуючи компоновальні характеристики та збільшуючи функціональну ємність радіоелектронної апаратури. Перевагою методу також є те, що це не викликає збільшення типорозмірів елементів несучих конструкцій для електронних модулів другого та третього рівнів.

Використання методу не обмежується стандартними несучими конструкціями. Він може бути прийнятий для рішення інших задач визна-

чення розмірів ДП в електронних пристроях, коли відомі розміри площини, де потрібно розмістити функціонально-закінчені електронні модулі на основі друкованого монтажу.

Розроблений алгоритм поділу друкованих плат на субтипорозміри конкретизує дії розробника радіоелектронної апаратури та є передумовою створення відповідної програми для автоматизації проектування.

#### Список літератури:

1. IEC 60297-3-101:2004. Mechanical structures for electronic equipment – Dimensions of mechanical structures of the 482,6 mm (19 in) series. Part 3-101: Subracks and associated plug-in units. Geneva, 2004.
2. ГОСТ Р МЭК 60917-2-2-2013 Модульный принцип построения механических конструкций для радиоэлектронных средств. Часть 2. Секционный стандарт. Координационные размеры интерфейса для несущих конструкций с шагом 25 мм. Раздел 2. Детальный стандарт. Размеры блочных каркасов, шасси, объединительных плат, передних панелей и вставных блоков. Москва, 2014.
3. Каталог продукції фірми Schroff. URL: [http://www.prosoft.ru/content/catalog\\_prosoft\\_17/files/assets/basic-html/page-1.html#](http://www.prosoft.ru/content/catalog_prosoft_17/files/assets/basic-html/page-1.html#) (дата звернення: 25.01.2018).
4. Каталог продукції фірми Rittal 2014/2015 pp. URL: [https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/unternehmen/presse/pressemeldungen/pressemeldung\\_detail\\_27712.jsp](https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/unternehmen/presse/pressemeldungen/pressemeldung_detail_27712.jsp) (дата звернення: 25.01.2018).
5. Ефименко А.А., Скопечный В.В., Карлангач А.П. Проектирование электронных модулей с гибкой структурой и размерами печатных плат. 19-я международная научно-практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии»: труды МНПК «СИЭТ-2017» (Одесса, 28 мая – 1 июня 2018 г.). Одесса, 2017. С. 19–21.
6. Стандарт IEC 917. Модульный принцип разработки механических структур для электронного оборудования, 1988.
7. Радіоелектронний модуль: пат. 115262 Україна, МПК Н05К 5/02 (2006.01) .№ а201509450 ; заявл. 01.10.2015 ; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19. 2017 р.

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С ГИБКОЙ СТРУКТУРОЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*В статье представлен метод проектирования электронных модулей первого уровня на основе печатных плат для повышения компоновочных характеристик и функциональной емкости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Метод предусматривает увеличение количества типоразмеров печатных плат по отношению к стандартным без увеличения типоразмеров элементов несущих конструкций для электронных модулей второго и третьего уровней. Увеличение общего количества типоразмеров печатных плат при использовании стандартных несущих конструкций дает возможность более рационально подходить к выбору размеров печатных плат, улучшая компоновочные характеристики РЭА. Метод может использоваться при решении других задач определения размеров печатных плат в РЭА, когда известны размеры площади, где нужно разместить функционально-законченные электронные модули на основе печатного монтажа. Разработан алгоритм, предназначенный для разделения типоразмеров печатных плат на субтипоразмеры с оптимизацией их структуры и размеров.*

**Ключевые слова:** печатная плата, электронный модуль, несущая конструкция, оптимизация размеров, метод конструирования, алгоритм деления.

#### DESIGN OF ELECTRONIC MODULES WITH A FLEXIBLE STRUCTURE OF PCB

*The article presents the design method of electronic modules of the first level on the basis of printed circuit boards (PCBs) to enhance the layout characteristics and functional capacitance of radio-electronic devices. In the method it is provided increasing the number of standard sizes of PCBs in relation to standard without increasing sizes of mechanical structures for electronic modules of the second and third levels. Increasing the total number of standard sizes of PCBs by using mechanical structures for electronic equipment allows more rationally approach to the choice of sizes of PCBs, improving the layout characteristics of the radio-electronic devices. The method can be used in solving other problems of determining the size of PCBs in the radio-electronic devices, when the size of the area is known, where it is necessary to place functionally-completed electronic modules based on assembly. An algorithm is developed for separating the sizes of PCBs into sub-dimensions with optimization of their structure and sizes.*

**Key words:** printed circuit board (PCB), electronic module, mechanical structure for electronic equipment, optimization of sizes, design method, division algorithm.

**Михайлова А.В.**

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

**Чумаченко С.М.**

Науковий центр аналітичних випробувань стану параметрів довкілля

ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища»

Національної академії наук України

## ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК СКЛАДНИК БЕЗПЕКИ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

*У роботі розглянуто поняття «краудсорсингова система моніторингу надзвичайної ситуації», його застосування у світовій практиці та перспективи використання в Україні.*

**Ключові слова:** краудсорсингова система, цивільний захист, надзвичайна ситуація.

**Постановка проблеми.** Стан природно-техногенної безпеки в державі [1], особливо в умовах військового конфлікту на Сході України, свідчить про наявність широкого спектра еколого-техногенних загроз різного походження. Така ситуація спонукає до розвитку системи моніторингу й управління відповідними ризиками, зокрема, розвитку її інформаційно-телекомунікаційного складника. Комплексне підвищення рівня безпеки життєдіяльності населення та захисту територій держави у сфері цивільного захисту можна розглядати крізь призму застосування сучасних краудсорсингових онлайн-платформ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У своїй статті “The Rise of Crowdsourcing” Джефф Хау вперше описує суть феномена «краудсорсинг», таким чином ввівши це поняття до загалу [2]. Пізніше, у 2008 р. вийшла у світ його книга [3]. Крім Дж. Хау, питання краудсорсингу досліджували такі закордонні вчені: М. Бот, Г. Янг [4], Р. Брюс, М. Роверс, Х. Ван Влает, Д. Свот, Е. Хекмен [5], Т. Айтамурто [6], Р. Долженко [7], Є. Ровних [8] та інші. Дослідження українських вчених у цьому напрямі досить нечисленні і в основному стосуються питань економічної, політичної та соціальної сфер (С. Серьогін, Ю. Шаров, Є. Бородін, Н. Гончарук [9], В. Омельченко [10], І. Косуля [11], О. Марченко [12] та ін.). Варті уваги наукові дослідження фахівців Національного інституту стратегічних досліджень [13]. Проте досі не досліджувалося питання застосування краудсорсингових технологій у сфері цивільного захисту в Україні.

**Постановка завдання.** Метою публікації є аналіз наявних підходів до моніторингу загроз і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій із застосуванням краудсорсингових онлайн-платформ і оцінка можливості їх впровадження в галузі цивільного захисту в сучасних умовах.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Технології з розроблення нових засобів збору та поширення інформації з різними цілями, у нашому разі з метою організації цивільного захисту під час загроз і виникнення небезпечних ситуацій, дістали назву «краудсорсинг». Виходячи з визначення цього поняття [14], розуміємо, що ці технології є перспективними і досить ефективними, адже вони дозволяють:

- залучити до співпраці значну кількість людей, зокрема й тих, хто перебуває безпосередньо в зоні лиха;
- передавати інформацію від першоджерела до онлайн-ресурсу або відповідного центру, що виконує функції запобігання, реагування й координації дій під час загрози або виникнення надзвичайної ситуації (далі – НС);
- обробляти значні обсяги інформації, отримані з різних джерел;
- зображати отримані масиви інформації в онлайн-режимі, що дозволяє розуміти ситуацію в умовах реального часу;
- розвивати волонтерство серед населення з метою організації та надання допомоги в зоні НС, а також евакуйованим.

Отже, краудсорсинг – це мобілізація ресурсів людей шляхом застосування інформаційно-теле-



комунікаційних технологій із метою вирішення широкого спектра задач.

Вперше це поняття було використано урядом Великобританії в 1714 р., коли за винагороду британцям запропонували знайти точний метод визначення довготи на морі. Замість того, щоб оплатити відповідні дослідження якомусь одному вченому, правителі Лондона запропонували взяти участь у вирішенні цієї задачі всім, кому це до снаги [15].

Незважаючи понад десятирічне широке застосування поняття «краудсорсинг» [16], досі виникає безліч питань, і для більшості українського населення цей термін не дуже зрозумілий.

Як зазначено в [17], одним із перших прикладів краудсорсингу була робота над Оксфордським англійським словником (Oxford English Dictionary), а найуживанішим і найвідомішим краудсорсинговим онлайн-ресурсом наразі є всесвітньо відомий сайт Wikipedia.

Водночас, як уже зазначалося, дана «новинка» успішно працює в усьому світі вже понад 10 років. Зважаючи на різноманітність проблем, небезпек і ситуацій, з якими кожна людина має справу чи не щодня, краудсорсингові технології набули поширення в багатьох сферах життя і діяльності: від медицини й психології до бізнесу та соціальних проєктів.

2007 р. створено найвідомішу краудсорсингову платформу «Ушакіді», що за роки свого існування пройшла перевірку часом та масштабами дій. Метою її створення було проведення моніторингу рівня насильства в Кенії, яке виникло після президентських виборів. Ця відкрита інтернет-плат-

форма розроблена для збирання великих обсягів інформації, візуалізації даних і створення інтерактивних карт. Вона була надійною і належно працювала в умовах НС різного характеру, зокрема, під час землетрусів у Чилі та Гаїті, повеней в Австралії та Сполучених Штатах Америки, військових конфліктів в Ізраїлі і Конго, виборів у Мексиці, Лівані, Киргизії, а також під час інших НС.

«Ушакіді» – платформа, розроблення якої було лише локальним технічним рішенням для оптимізації роботи журналістів і правозахисників у Кенії, перетворилася на глобальну краудсорсингову платформу, яку кожен може використовувати для створення свого власного проєкту. І це вже відбувається в 159 країнах світу [18].

«Ушакіді» постійно розвивається і сьогодні, про що свідчить [19].

Детально ознайомитися з усіма можливостями даної краудсорсингової платформи можна на офіційному сайті [20].

Загальна архітектура будь-якої краудсорсингової платформи структурно складається з:

- веб-сайту;
- координаційного центру – команди людей, які за допомогою програмного забезпечення здійснюють низку таких функцій, як:
  - а) моніторинг джерел інформації;
  - б) збирання інформації та перевірка її достовірності;
  - в) підтримка роботи сайту;
  - г) організація роботи гарячої лінії;
  - д) координація надання допомоги тощо.

Технологія, що розглядається, має, безумовно, переваги та недоліки. До переваг можна віднести:

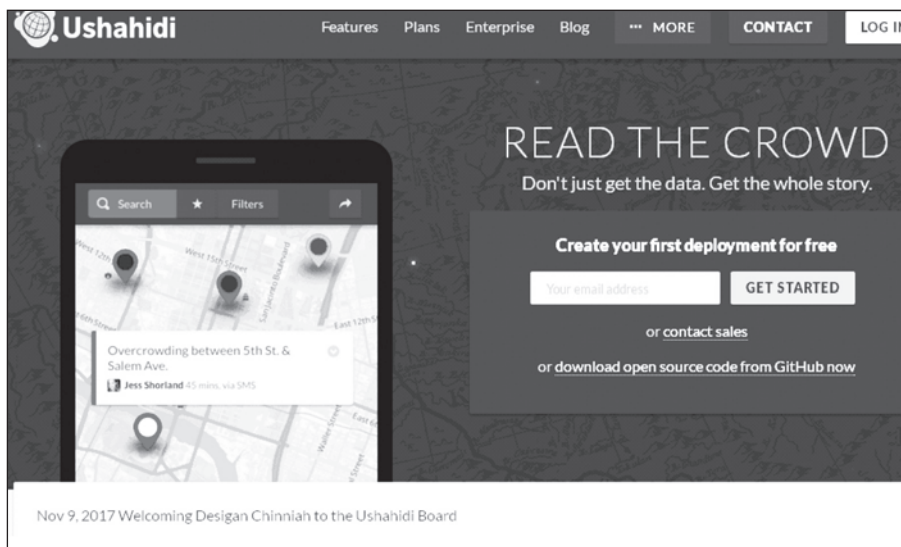


Рис. 1. Фрагмент інтерфейсу краудсорсингової платформи «Ушакіді»

- багатоканальність отримання інформації та простоту її доставки, враховуючи, що найчастіше для цього потрібен лише телефон;
  - здатність швидкого залучення до зони НС;
  - щосекундне оновлення інформації та її багаторівнева візуалізація;
  - швидкий доступ до ресурсу – достатньо підключення до мережі Інтернет;
  - невисока вартість технологій і можливість постійного оновлення та вдосконалення.
- Проте, є й недоліки:
- обмеженість можливостей перевірки отриманої інформації;

- низький рівень захищеності від НС засобів інфотелекомунікацій;
- відсутність належного правового базису для регулювання питань краудсорсингу.

З пострадянських країн Російська Федерація на крок попереду щодо розвитку краудсорсингу, що не може не викликати професійний інтерес. Серед найуживаніших краудсорсингових онлайн-платформ, що стосуються сфери цивільного захисту, можна виокремити, зокрема, такі: «Карта допомоги» [21], «Виртуальная рында» [22; 23], «Лиза Алерт» [24; 25], «Космоснимки – пожары» [2; 27] тощо. Про постійний розвиток напряму

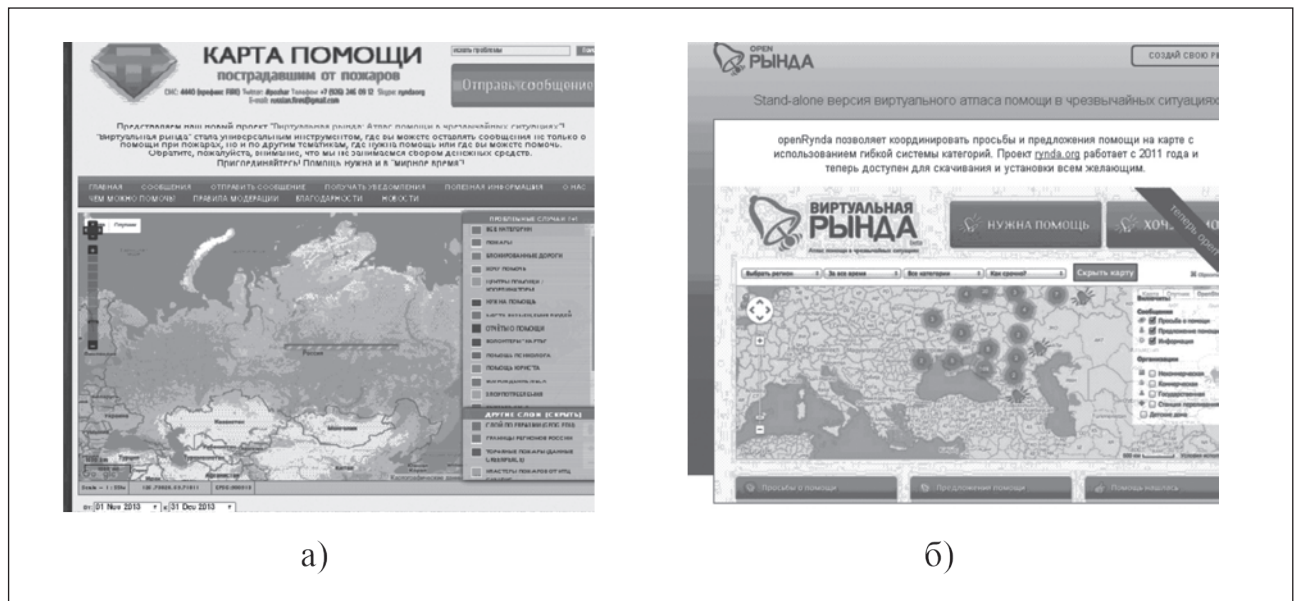


Рис. 2. Фрагмент інтерфейсу краудсорсингових платформ: а) «Карта помощи»; б) «Виртуальная рында»

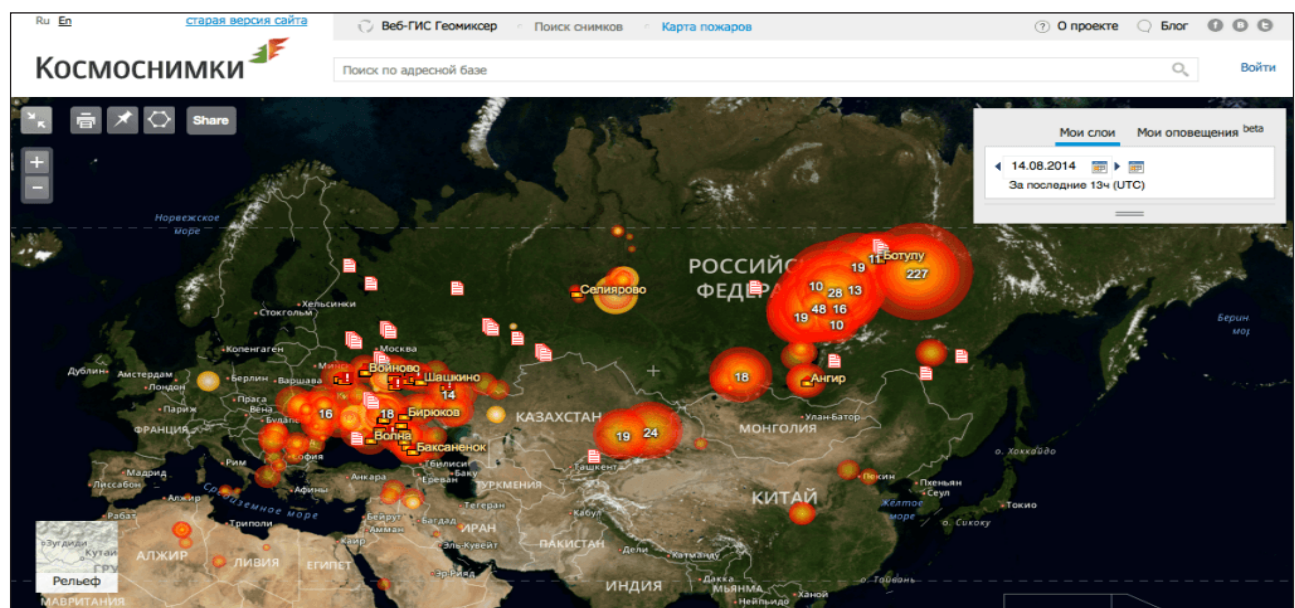


Рис. 5. Фрагмент інтерфейсу краудсорсингової платформи «Космоснимки – пожары»

краудсорсингу також свідчать проведення хакатонів, наприклад [28] (рис. 2–5).

Що стосується розвитку краудсорсингу у сфері цивільного захисту в нашій державі, томожна зазначити таке. Застосування вже апробованих геоінформаційних технологій, а також світового досвіду загалом дає можливість українським фахівцям створити власний ресурс для кризового краудсорсингу. Розроблення такої платформи дозволить створити комплексний сайт із надання екстреної допомоги.

Одним із варіантів розвитку цього питання є вдосконалення роботи «Системи 112» у регіонах, де вона вже функціонує (м. Харків і Харківська область, м. Київ і Київська область, м. Львів і Львівська область), а також її впровадження на решті території України.

Крім того, варто розвивати Урядову інформаційно-аналітичну систему з питань надзвичайних ситуацій (далі – УІАСНС), яку було створено з метою інформаційно-аналітичного забезпечення процесів підготовки, прийняття та контролю виконання рішень з питань НС [29]. У межах її впровадження передбачалося створення Кризового центру в складі Центру інформаційних ресурсів при Кабінеті Міністрів України.

Впровадження УІАСНС потребувало узгодження численних питань міжвідомчої взаємодії. Тому, зважаючи на складність і важливість завдань щодо створення та функціонування УІАСНС, у

2001–2007 рр. працювала окрема координаційна рада із цих питань (під головуванням першого заступника Міністра надзвичайних ситуацій та за участю представників Секретаріату Кабінету Міністрів України і низки відомств). Хоча з моменту ухвалення першої Програми створення УІАСНС минув не один рік, процес створення цієї системи, на жаль, ще й досі не завершений [30].

**Висновки.** З вищезазначеного розуміємо, що безумовна необхідність зниження ризиків виникнення НС різного характеру, а також темпи розвитку сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій ставлять перед відповідними відповідальними особами, а також бажаючими допомогти вимоги застосування прогресивних моніторингових технологій. Світовий досвід розроблення і впровадження нових моделей розвитку захисту населення і територій на випадок загрози або виникнення НС дає можливість українцям впровадити його в парадигмі реалій нашої держави.

Застосування об'єднаних зусиль держави та краудсорсингових платформ в умовах НС дозволить підвищити продуктивність і скоординованість дій аварійно-рятувальних підрозділів, забезпечити своєчасне реагування на виникнення нових природно-техногенних загроз і небезпек, мінімізувати людські жертви, матеріальні втрати та негативний вплив на довкілля, а також сприяти розвитку волонтерства серед населення України.

#### Список літератури:

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. Київ. 2017. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html> (дата звернення: 30.11.2017).
2. Howe J. The rise of crowdsourcing. 2006. URL: <https://www.wired.com/2006/06/crowds/> (дата звернення: 22.12.2017).
3. Хау Д. Краудсорсинг: коллективный разум, как инструмент развития бизнеса. 2012. URL: [https://books.google.com.ua/books?id=d0tKop7n\\_ZIC&pg=PA9&hl=uk&source=gb\\_s\\_toc\\_r&cad=3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?id=d0tKop7n_ZIC&pg=PA9&hl=uk&source=gb_s_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false) (дата звернення: 22.12.2017).
4. Bott M. The Role of Crowdsourcing for Better Governance in International Development. 2012. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/2b4b/9e693aa12ecf66635bd2c7b080d340d90513.pdf> (дата звернення: 22.12.2017).
5. Brussee R., Rovers M., Vliet H. and others. Crowdsourcing Classification, costs, benefits, and usage. URL: <http://www2.mmu.ac.uk/media/mmuacuk/content/documents/carpe/2013-conference/papers/social-innovation/RogierBrusseeMichielRoversHarryvanVliet,DickSwart,ErikHekman.pdf> (дата звернення: 22.12.2017).
6. Aitamurto T. Crowdsourcing for Democracy. A New Era in Policy-Making. Publication of the Committee for the Future. 2012. № 1. 48 p.
7. Долженко Р. Краудсорсинг как инструмент совершенствования организации, государства и общества: монография. Барнаул: Алтайский государственный университет. 2014. 133 с.
8. Ровных Е. Повышение эффективности инновационных процессов в рамках объединенного информационного пространства инновационной деятельности РФ и вертикальной мобильности общества за счет использования краудсорсинга. Российское предпринимательство. 2015. № 15. С. 2383–2396.
9. Серьогін С., Шаров Ю., Бородін Є., Гончарук Н. та ін. Управління стратегічним розвитком об'єднаних територіальних громад: інноваційні підходи та інструменти: монографія / за заг. та наук. ред. С. Серьогіна, Ю. Шарова. Д.: ДРІДУ НАДУ, 2016. 276 с.

10. Омельченко В. Добročинність в умовах становлення інформаційного суспільства. Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Серія «Теорія культури і філософія науки». 2017. № 57. С. 34–39.
11. Косуля І. Краудсорсинг та краудфандинг: нові поняття чи нові феномени? Методологія, теорія та практика соціологічного аналізу сучасного суспільства: збірник наукових праць. Харків: Видавничий центр Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, 2014. 362 с.
12. Марченко О. Інтелектуальний краудсорсинг як категорія інформаційного суспільства. URL: [http://dSPACE.nulau.edu.ua:8088/bitstream/123456789/2074/1/Marchenko\\_51\\_53.pdf](http://dSPACE.nulau.edu.ua:8088/bitstream/123456789/2074/1/Marchenko_51_53.pdf) (дата звернення: 15.12.2017).
13. Гнатюк С. Досвід і перспективи використання технологій краудсорсингу у надзвичайних ситуаціях: аналітична записка. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/747/> (дата звернення: 15.12.2017).
14. Краудсорсинг. Википедія: свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%83%D0%B4%D1%81%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B3> (дата звернення: 09.11.2017).
15. Марущак С. Правове регулювання краудсорсингу в Україні. URL: <https://www.businesslaw.org.ua/pravove-reguluvannya-craudsorsyngu/> (дата звернення: 08.11.2017).
16. Измestьева Е. Краудсорсинг в 2015 году: мобильный краудсорсинг. 2015. URL: <https://te-st.ru/2015/02/16/crowdsourcing-2015> (дата звернення: 09.11.2017).
17. Что такое краудсорсинг? URL: [http://crowdsourcing.ru/article/what\\_is\\_the\\_crowdsourcing](http://crowdsourcing.ru/article/what_is_the_crowdsourcing) (дата звернення: 09.11.2017).
18. Алексеева Д. Платформе Ushahidi исполнилось 5 лет. 2013. URL: <https://te-st.ru/2013/02/06/ushahidi/> (дата звернення: 09.11.2017).
19. Цыганков А. Приложение Ushahidi для смартфонов поможет собирать данные в офлайн-режиме. 2017. URL: <https://te-st.ru/2017/03/27/ushahidi-app-offline-mode/> (дата звернення: 09.11.2017).
20. Ushahidi. URL: <https://www.ushahidi.com/> (дата звернення: 09.11.2017).
21. Карта помощи. URL: <http://russian-fires.ru/> (дата звернення: 09.11.2017).
22. Воропай Е. «Виртуальная Рында» – атлас помощи в чрезвычайных ситуациях. 2012. URL: <https://te-st.ru/entries/rynda/> (дата звернення: 09.11.2017).
23. OpenРында. URL: <https://openrynda.te-st.ru/> (дата звернення: 09.11.2017).
24. Воропай Е. Лиза Алерт – поиск пропавших детей. 2012. URL: <https://te-st.ru/entries/liza-alert/> (дата звернення: 09.11.2017).
25. Liza Alert. URL: <http://lizaalert.org/> (дата звернення: 09.11.2017).
26. Космоснимки. URL: <http://fires.kosmosnimki.ru/> (дата звернення: 09.11.2017).
27. Система оперативного мониторинга СКАНЭКС, проект «Космоснимки – Пожары». URL: <http://fires.kosmosnimki.ru/docs/> (дата звернення: 09.11.2017).
28. Теплица социальных технологий. Подведены итоги межрегионального хакатона по лесным пожарам #FiresHack2016. 2016. URL: <https://te-st.ru/2016/06/29/fireshack2016/> (дата звернення: 09.11.2017).
29. Про створення Урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій: постанов Кабінету Міністрів України від 16 грудня 1999 р. № 2303 / Кабінет Міністрів України. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/2303-99-%D0%BF> (дата звернення: 31.11.2017).
30. Бірюков Д. Забезпечення інституційних основ підтримки прийняття рішень щодо попередження, реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій: аналітична записка. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1534> (дата звернення: 15.01.2018).

## ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ БЕЗОПАСНОСТИ В СФЕРЕ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

*В работе рассмотрены понятие «краудсорсинговая система мониторинга чрезвычайной ситуации», его применение в мировой практике и перспективы использования в Украине.*

**Ключевые слова:** краудсорсинговая система, гражданская защита, чрезвычайная ситуация.

## INFORMATION AND TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES AS A PART OF SAFETY IN THE SPHERE OF CIVIL DEFENCE

*The concept of “crowdsourcing system of emergency monitoring”, its application in world practice and prospects of using it in Ukraine are considered in this article.*

**Key words:** crowdsourcing system, civil defense, emergency situation.

УДК 621.396.4

**Сайко В.Г.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Наритник Т.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## РАДІОКАНАЛ ДОСТУПУ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ БЕЗДРОТОВИХ РАДІОСИСТЕМ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

*У статті наводяться результати аналізу особливостей розповсюдження радіохвиль і технічних аспектів побудови каналу широкопasmового доступу терагерцового діапазону. Запропоновано технічне рішення каналу радіодоступу в терагерцовому діапазоні із підвищеною інформаційною ефективністю. Приводиться узагальнений алгоритм прогнозування каналного та часового ресурсів такої мережі. Розроблене рішення дозволяє підвищити ефективність використання інформаційного ресурсу мережі, збільшити відстань до віддаленої абонентської мережі в кілька разів, залежно від співвідношення інформаційних потоків на вході вузла доступу мережі, збільшити кількість точок радіодоступу.*

**Ключові слова:** канал широкопasmового доступу, терагерцовий діапазон, підвищена інформаційна ефективність, радіосистеми виявлення прихованих об'єктів, алгоритм прогнозування.

**Постановка проблеми.** Однією з перспективних сфер застосування терагерцових технологій є системи бездротового зв'язку [1]. Зокрема, передбачається створення принципово нових за габаритами, заводо захищеністю та енергоефективністю пристроїв субміліметрового та терагерцового діапазону для високошвидкісної передачі відеосигналу, для радіорелейних систем прямої видимості, для транспортних мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G) і радарів, для високоточного виявлення і розпізнавання малорозмірних швидкісних цілей, а також для радіометричних систем виявлення прихованих об'єктів. Розробка нових типів сенсорів на базі терагерцових технологій дозволить отримувати більш точну і детальну оперативну інформацію про стан контрольованого об'єкта або місцевості. Такі розробки ведуться в США під егідою DARPA, в Англії, Німеччині, Китаї для застосування у військових і цивільних цілях. Розвиток елементної бази радіоелектронних пристроїв, широке впровадження цифрової техніки формування і обробки сигналів дозволяють по-новому підійти до вирішення багатьох завдань, які раніше стримували втілення розробок телекомунікаційних систем суб- і терагерцового діапазонів. Зазначені обста-

вини роблять цей діапазон унікальним для побудови телекомунікаційних систем і мереж, у т. ч. для мереж мобільного зв'язку нового покоління. В останні роки тенденція використання діапазону терагерцових радіохвиль набула, порівняно з минулими роками, стійкого характеру. Це пояснюється успіхами в розробці технічно досконалих пристроїв і систем [1]. Найважливішою їх перевагою є широкий робочий діапазон частот. Вузькі діаграми спрямованості антен у цьому діапазоні сприяють підвищенню скритності зв'язку і придушенню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вичерпаність ліцензійного частотного ресурсу та стрімке підвищення потреби населення в доступі до інформаційних мереж потребує дослідження використання в мережах доступу неліцензійного частотного ресурсу, зокрема терагерцового частотного діапазону. У безлічі робіт [2–7] висвітлено результати досліджень поширення міліметрових, частково субміліметрових і терагерцових хвиль. Основні особливості терагерцового випромінювання, які відрізняють його від мікрохвильового й оптичного, проявляються, головним чином, під час його взаємодії з речовиною. Зокрема, у терагерцовому діапазоні знаходяться резонанси

обертальних і коливальних переходів молекул багатьох речовин, що дозволяє ідентифікувати діелектричне середовище різного агрегатного стану. Найбільш придатними для освоєння під мобільні телекомунікаційні системи є вікна прозорості, які можна визначити за певним рівнем загасання. Згідно з [7], таким граничним рівнем може бути 100 дБ/км. Тоді маємо п'ять вікон прозорості, пропускна здатність у смугах вікон терагерцового діапазону може досягати сотень Гбіт/с. Причому, чим менша відстань радіотраси, тим меншого впливу зовнішніх факторів і тим більшої пропускної здатності можна досягти. Але покриття послугами значної території мережею каналів терагерцового діапазону ускладнюється відсутністю на сьогодні передавальних трактів прийнятної вартості та потрібної потужності і малошумлячих приймальних трактів. У районних центрах є значна кількість абонентів, територіально дислокованих у центральній частині міста. Якщо в містах-обласних центрах існує досить розвинута оптоволоконна мережа, по якій зазвичай реалізується доступ до інформаційних ресурсів, то в невеликих містах, у районних центрах та прилягаючих сільських населених пунктах, де невелика щільність потенційних абонентів, зазвичай відсутні оптоволоконні мережі, по яким може бути реалізований якісний доступ до інформаційних ресурсів. Вичерпаність ліцензійного частотного ресурсу суттєво ускладнює надання таких послуг на вказаних вище територіях. Тому пропонується для абонентського доступу в каналах мережі backhaul (канал мобільного фіксованого радіодоступу) використовувати неліцензійний частотний ресурс. У даному разі – терагерцовий діапазон (140 ГГц). Значні втрати енергії сигналу такого частотного діапазону на трасі розповсюдження потребують використання антен із коефіцієнтом підсилення до 50 дБ, у діапазоні близько 140 ГГц, кут розкриву діаграми спрямованості менше 1°. У [8] пропонується реалізація доступу в форматі, згідно зі стандартом IEEE 802.11n, із подальшим перенесенням робочого діапазону, в якому використовується програмно-апаратні засоби Wi-Fi, у терагерцовий діапазон – 140 ГГц. Приймальні та передавальні лінійні тракти забезпечують перенесення частотного діапазону близько 2,7 ГГц у діапазон  $\approx 140$  ГГц під час передачі сигналу і понижують частоту зі  $\approx 140$  ГГц до  $\approx 2,7$  ГГц під час прийому сигналу. Центральна (далі – ЦС) та абонентські станції (далі – АС) з'єднуються каналами мережі backhaul у терагерцовому діапазоні ( $\approx 140$  ГГц). У якості АС використовується

вузол доступу Wi-Fi, до якого підключені приймально-передавальні антени та лінійні тракти АС. Технічним рішенням [9] розширення зони обслуговування (далі – ЗО) точки доступу реалізується створенням однорангової мережі Mesh, доступ до якої надається через вузлову точку доступу, яка може входити до складу АС. Недоліком такого технічного рішення є недостатній розмір ЗО. Збільшення довжини каналу мережі backhaul реалізуються в системі широкосмугового доступу [10].

У [11] запропонований формувач інформаційного потоку, до складу якого входять 8 приймальних та 8 передавальних трактів, що базуються на чіпах Mikrotik R52nM, які частотно-мультиплексовані і за використання модуляції 64-QAM реалізують швидкість потоку даних 1,2 Гбіт/с у форматі 802.11n. Обробка приймального і передавального потоків лінійними трактами дозволяє створити канал передачі терагерцового діапазону, в якому вказаний вище формувач використовується як модем. Підключення такого модему до обох кінців каналу передачі даних дозволяє створити прольот радіорелейної лінії зі швидкістю інформаційного потоку 1,2 Гбіт/с. Такий канал був розроблений для терагерцового діапазону (в діапазоні 140 ГГц) [12–14]. Він складається із приймально-передавальних антен, лінійних трактів та блоків обробки сигналів на базі формувача центральної станції. До формувача інформаційного потоку центральної станції введено  $n$  передавальних та  $n$  приймальних антен, які обслуговують відповідні ділянки зони покриття, а склад вузлів абонентської мережі відповідає складу та параметрам відповідних частин центральної станції. Інформаційний ресурс через окремий порт підключається до приймально-передавальної антени, яка направлена на відповідну зону покриття. Інформаційні потоки у форматі IEEE 802.11n у кількості до 8 передаються на трасі розповсюдження до приймального вузла відповідної станції. Для більш ефективного використання інформаційного ресурсу під час надання послуг абонентського доступу в якості АС використовувався вузол доступу на базі чіпа Mikrotik R52nM.

**Постановка завдання.** На сьогодні дослідження сфокусовано на збільшенні пропускної здатності каналу зв'язку у разі використання надширокосмугових сигналів, які займають весь терагерцовий діапазон [1]. Однак, варто зазначити, що в багатьох перспективних додатках для мереж 5 покоління дальність зв'язку відіграє більш значиму роль, ніж швидкість передавання

даних. Таким чином, розробка методів та технічних рішень збільшення радіусу дії окремого вузла зв'язку терагерцового діапазону є важливою науково-технічною задачею.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Під час реалізації широкопasmового доступу абонентів до інформаційних ресурсів інформаційна швидкість в середньому на одного абонента складе близько 3–4 Мбіт/с. Тобто кількість одночасно працюючих абонентів у мережі складе  $\approx 40$ . Збільшення кількості абонентів вимагає або підвищення наданого інформаційного ресурсу, або зниження інформаційної швидкості потоку, що надається абонентові (зниження якості передачі). Збільшення загального інформаційного ресурсу обмежується параметрами тракту backhaul, зокрема рівнем вихідної потужності підсилювача передавального тракту. Відсутність на сьогодні передавального тракту (вихідного підсилювача) прийнятної вартості та рівня вихідної потужності в терагерцовому діапазоні (140 ГГц) та малошумлячого вхідного підсилювача приймального тракту суттєво обмежує реалізацію потрібного розміру каналу мережі backhaul під час передачі по одному каналу кількох інформаційних потоків.

Технічні аспекти побудови каналу терагерцового діапазону. Реалізація широкопasmового доступу вимагає надання значного інформаційного ресурсу кожному абоненту, що за недостатнього наданого ресурсу породжує зниження ефективності системи в плані надання послуг. Відсутність апаратних засобів приймальних та передавальних трактів прийнятної вартості під час використання в каналах мережі backhaul неліцензійного терагерцового частотного діапазону приводить до суттєвого зменшення довжини каналу мережі backhaul, тобто до зменшення розміру зони мережі. Тому для усунення даних недоліків пропонується нове технічне рішення для збільшення швидкості інформаційного потоку, що надається в середньому кожному абоненту, збільшення кількості абонентів на території, що покривається точкою доступу, і можливість розширення території обслуговування.

Як відомо, розгортання мережі MESH в районі обслуговування точкою доступу Wi-Fi не вирішує проблеми через недостатній інформаційний ресурс каналу у разі використання модему на базі чіпа Mikrotik R52nM у стандарті IEEE 802.11n (150 Мбіт/с). Його підвищення шляхом підключення додаткових інформаційних потоків в одному каналі приводить до зменшення довжини

каналу мережі розміру backhaul та недостатньої енергетики через відсутність апаратних засобів трактів. Крім того, мережа MESH розгортається для розширення розмірів зони обслуговування, що не є предметом даної статті.

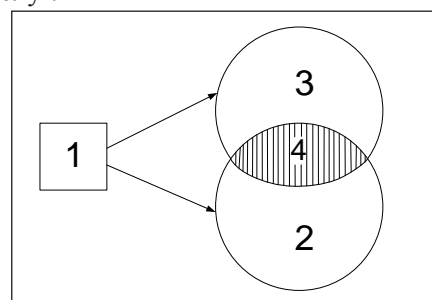
У цьому технічному рішенні пропонується створювати не однорангову мережу MESH, а серверну, в якій канали backhaul створюються для додаткових інформаційних потоків, що підключаються до окремих точок доступу. Території покриття такими точками доступу перекриваються. Величина та дислокація перекритої території визначається за результатами дослідження обслуговуваної території.

Як вказано вище, у технічному рішенні [9] пропонується до різних точок доступу підключати один і більше інформаційних потоків. Недоліки такого технічного рішення – недостатній інформаційний ресурс у разі підключення одного потоку та зменшення довжини каналу передачі під час подачі кількох потоків. Ці недоліки, пов'язані із недостатнім енергетичним ресурсом, суттєво обмежують використання однорангової мережі MESH. Тому пропонується його компенсувати подачею різних інформаційних потоків на різні точки доступу. Керування такою системою може виконуватися за принципом серверної мережі.

Територіальна дислокація точок доступу дозволяє: підвищити інформаційний ресурс, що надається абонентам обслуговуваної території; забезпечити утримання енергетичного ресурсу (енергія на біт), тобто довжина каналу backhaul зберігається; забезпечити розширення розміру обслуговуваної території.

На рис. 1 показано принцип обслуговування такою системою, де:

- 1 – центральна станція;
- 2 – територія покриття основним потоком;
- 3 – територія покриття додатковим потоком, тобто територія розширення зони обслуговування;
- 4 – територія підвищення якості інформаційних послуг.



**Рис. 1. Структура принципу обслуговування абонентів розробленою системою**

Збільшення перетинання територій 2 і 3 приводить до зменшення загальної території обслуговування (тобто зростає розмір території 4 за рахунок зменшення території 3). Це приводить до підвищення інформаційного потоку в основній зоні. Тобто частина інформаційного ресурсу потоку 1–3 передається в зону 2 і збільшує сумарний інформаційний ресурс в основній зоні (зоні 2).

Узагальнений алгоритм прогнозування каналного та часового ресурсів інноваційного технічного рішення. У процесі розгортання системи каналів передачі терагерцового діапазону одне з основних місць займає розподіл каналного і часового ресурсу між окремими секторами (напрямами) системи бездротового зв'язку, що обумовлено зміною якісних і кількісних характеристик трафіку. Ще раз треба зазначити, що особливістю таких радіосистем є те, що доступ до каналів передачі організовується за запитом, переданому передавальною стороною у службовому повідомленні. Іншими словами, маршрутизатор абонентської точки доступу формує розклад можливих передач, тобто виробляє канално-тимчасове прогнозування ресурсу, що призводить до таких негативних наслідків:

- змагальність у передачі даних між окремими напрямками;
- неоптимальне використання канално-часового ресурсу.

Отже, виникає завдання оптимізації прогнозування канално-часового ресурсу в системах даного типу. Необхідність економії канално-часового ресурсу забезпечує підвищення якісних характеристик передачі і прийому сигналів.

Однак, слід зазначити також і про складність вирішення такого завдання, яка обумовлена відсутністю ефективних алгоритмів її рішення. Найбільш ефективним способом прогнозування канално-часового ресурсів є алгоритми теорії послідовних рішень, динамічного програмування Беллмана, наближений «евристичний» метод Боксу. Головний недолік останнього полягає в маловивченості питання збіжності запропонованого алгоритму. Перші два методи не завжди дозволяють отримати точне рішення, що надається для здійснення прогнозування мережі бездротового зв'язку, побудованого за даним типом. Тому пропонується вирішити задачу прогнозування канално-часового ресурсів як оптимізаційну задачу із залученням математичного апарату методу лінійного програмування [15].

**Висновки.** Таким чином, для підвищення інформаційної ефективності вузла зв'язку у статті запропоновано технічне рішення побудови каналу бездротового ширококутового абонентського доступу до інформаційних ресурсів із використанням каналу терагерцового діапазону, яке зумовлює кращу ефективність системи з погляду дальності зв'язку та пропускну здатності каналу. Таке інноваційне рішення дозволяє підвищити ефективність використання інформаційного ресурсу мережі, збільшити відстань до віддаленої абонентської мережі в кілька разів залежно від співвідношення інформаційних потоків на вході вузла доступу мережі, збільшити кількість точок радіодоступу.

#### Список літератури:

1. Кравчук С.О., Наритник Т.М. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону: монографія. Житомир: ФОП Євенок О.О., 2015. 208 с.
2. Быстров Р.П., Соколов А.В., Чеканов Р.Н. Дальность действия миллиметровых радиолокационных станций в дождях. Москва: Радиотехника. 2005. № 1. С. 19–23.
3. Быстров Р.П., Соколов А.В. Распространение короткой части миллиметровых и субмиллиметровых волн: возможные области их применения. Москва. Радиотехника. 2006. № 5. С. 11–18.
4. Preissner F.J. Terahertz band. Symp. Millimeter and Submillimeter Wave Propagation and Circuits. AGARD Conf. Proc. 1972. № 245. p. 48/1.
5. Сайко В.Г., Наритник Т.М. Радіоканал доступу терагерцового діапазону. Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа розвитку громадянського суспільства та становлення економіки знань: Матеріали міжнародної науково – практичної конференції (Київ, 29–30 вересня 2017 р.). Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. С. 149–151.
6. Малышенко Ю.И., Левадный Ю.В. Оценка воздействия дождей на параметры радиолокационных станций микроволнового диапазона с учетом метеостатистических сведений о продолжительности выпадения дождей. ИРЭАН Украины: Радиофизика и электроника. 2012. № 1. С. 36–40.
7. Grigat M. Link budget considerations for THz Fixed Wireless links. IEEE Trans. on Terahertz science and technology. 2012. Vol. 2. № 2. P. 567–572.
8. Мікрохвильова система ширококутового бездротового доступу з підвищеною щільністю покриття зони обслуговування UMDS-TH: пат. 109005 Україна: МПК H04B 7/00. № u2011600935; заявл. 05.02.16; опубл. 10.08.16, Бюл. № 15. 5 с.



9. Мікрохвильова система ширококутового бездротового доступу UMDS-Mesh: пат. 110181 Україна: МПК H04B 7/165. № u201603788; заявл. 08.04.16; опубл. 26.09.16, Бюл. № 18. 5 с.
10. Мікрохвильова система ширококутового доступу UMDS-PP: пат. 114590 Україна: МПК H04B 7/00. № u201603788; заявл. 30.09.16; опубл. 10.03.17, Бюл. № 13. 6 с.
11. Приймально-передавальний формувач інформаційного потоку для каналу зв'язку із підвищеною спектральною ефективністю та пропускною здатністю: пат. 84923 Україна: МПК H04B 7/165. № u201303679; заявл. 26.03.13; опубл. 11.11.13, Бюл. № 21. 5 с.
12. Сайко В.Г., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Дакова Л.В., Грищенко Л.М., Кравченко В.І. Використання розподілених транспортних радіомереж терагерцового діапазону в рамках побудови мереж мобільного зв'язку нового покоління. Зв'язок. 2016. № 6. С. 16–21.
13. Канал безпроводного ширококутового абонентського доступу до інформаційних ресурсів із використанням каналу терагерцового діапазону: пат. 104299 Україна: МПК H04B 7/165. № u201506281; заявл. 25.06.15; опубл. 25.01.16, Бюл. № 2. 5 с.
14. Сайко В.Г. Радиорелейные системы терагерцового диапазона для радиометрических систем обнаружения скрытых объектов. Проблемы кибербезопасности информационно-телекоммуникационных систем. Материали II науково-практичної конференції (Київ, 23–24 березня 2017 р.). Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. С. 190–193.
15. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. Москва, Дрофа, 2006. 206 с.

### РАДИОКАНАЛ ДОСТУПА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ РАДИОСИСТЕМ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

*В статье приводятся результаты анализа особенностей распространения радиоволн и технических аспектов построения канала широкополосного доступа терагерцового диапазона. Предложено техническое решение канала радиодоступа терагерцового диапазона с повышенной информационной эффективностью. Приводится обобщенный алгоритм прогнозирования канального и временного ресурсов такой сети. Разработанное решение позволяет повысить эффективность использования информационного ресурса сети, увеличить расстояние до удаленной абонентской сети в несколько раз, в зависимости от соотношения информационных потоков на входе узла доступа сети, увеличить количество точек радиодоступа.*

**Ключевые слова:** канал широкополосного доступа, терагерцовый диапазон, повышенная информационная эффективность, радиосистемы выявления скрытых объектов, алгоритм прогнозирования.

### THZ BAND WIRELESS ACCESS CHANNEL FOR 5G WIRELESS SYSTEMS

*This article provides the results of radio wave spreading feature analysis and technical aspects of the THz-band wireless broadband access channel design. Technical solution for high data efficiency THz-band wireless access channel is being provided here. Generalized channel and time resource prediction algorithm for such systems is being described here. The developed solution allows to increase the network's data use efficiency, increase the distance to remote subscriber network in some times depending on the network access node's input data stream ratio, and increase the amount of wireless access points.*

**Key words:** broadband channel, THz, terahertz, T-ray, submillimeter, high data efficiency, prediction algorithm, hidden object detection radio system.

**Семенов А.О.**

Вінницький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНОЇ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ З ВІД'ЄМНИМ ОПОРОМ

*У роботі наведено результати теоретичних досліджень та математичного моделювання генератора детермінованого хаосу на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором. Отримала подальший розвиток математична модель Аніщенко-Астахова, яка є однією з базових моделей теорії детермінованого хаосу. Запропоновано рівняння апроксимації статичної ВАХ біполярної транзисторної структури за допомогою функції гіперболічного тангенсу. Досліджено динаміку генерованих хаотичних коливань шляхом математичного моделювання. Отримано нормовані часові діаграми та амплітудо-частотні спектри хаотичних коливань напруги на конденсаторі та струму індуктивності.*

**Ключові слова:** генератор, детермінований хаос, транзисторна структура, математична модель, від'ємний опір, фазовий портрет.

**Постановка проблеми.** Розробка та дослідження мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу є актуальною науковою задачею, яка набула поширення в останні роки. Це зумовлено можливістю практичного застосування електричних хаотичних коливань у телекомунікаційних системах [1, с. 9]. Щоб мікроелектронний генератор детермінованого хаосу був сумісний із іншими елементами інтегральних схем, потрібно вирішити ряд обмежень. Основні з них – це потужність споживання, напруга живлення та діапазон частот [2, с. 10]. Ці обмеження переважно мають схемотехнічний характер. У більшості випадків електричні схеми генераторів детермінованого хаосу отримано випадково або шляхом реалізації математичної моделі нелінійної динамічної системи [3, с. 460]. Отримано велику кількість результатів експериментальних досліджень і математичного моделювання хаотичних генераторів. Водночас мало уваги приділено особливостям схемотехніки мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу [3, с. 460]. Пріоритетом є розробка схемотехнічних рішень, сумісних із мікроелектронною технологією [2, с. 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для побудови мікроелектронних генераторів осциляторних або релаксаційних коливань широко застосовують транзисторні структури з ВАХ  $\Lambda$ -,  $N$ - або  $S$ - типу [3–5]. Теорія таких генераторів давно розроблена і є відомою. Електричні параметри тран-

зисторних структур з ВАХ  $\Lambda$ -та  $N$ -типів керуються напругою, а параметри транзисторних структур з ВАХ  $S$ - типу – струмом. Управління електричними параметрами приладів із ВАХ  $S$ -типу здійснюється у вузьких межах керуючих напруг і струмів та потребує додаткових схемотехнічних рішень для забезпечення стійкості роботи. Тому для побудови генераторів широко застосовують прилади з ВАХ  $\Lambda$ -та  $N$ -типів. У літературі висвітлені питання розробки та дослідження генераторів на основі приладів з ВАХ  $\Lambda$ -та  $N$ -типів, які працюють у релаксаційному або осциляторному режимах. Нелінійні та хаотичні режими роботи таких генераторів мало досліджені [6].

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження генератора детермінованого хаосу на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання: 1) здійснити аналіз схеми генератора детермінованого хаосу; 2) розробити математичну модель та аналітично дослідити динаміку генерованих коливань; 3) розробити комп'ютерну схемотехнічну модель генератора детермінованого хаосу та порівняти результати моделювання з аналітично отриманими.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Електрична схема генератора детермінованого хаосу наведена на рис. 1а. На рис. 1б наведено сімейство статичних ВАХ біполярної транзисторної структури з від'ємним опором [6].

Генератор працює таким чином. Шляхом вибору напруги керування  $V_2$  і напруги живлення  $V_1$  робоча точка встановлюється на спадній ділянці ВАХ. У такому разі комплексний опір активного елемента генератора на електродах «колектор VT1 – колектор VT2» для змінного струму має від’ємні активну і реактивну складові частини. Паралельно активному елементу генератора підключений конденсатор  $C_2$  для зменшення впливу амплітуди коливань на величину ємнісної складової реактивного опору транзисторної структури VT1 – VT2. Конденсатор  $C_1$  використаний для шунтування джерела напруги живлення  $V_1$  від змінного струму. Коливальний контур генератора складається з котушки індуктивності  $L_1$  і ємнісного елемента у вигляді реактивної складової частини опору транзисторної структури VT1 – VT2 з паралельно підключеним конденсатором  $C_2$ . У вітку індуктивності підключене коло з послідовно з’єднаних діода  $VD_1$  та резистора  $R_4$ .

Це коло вносить додаткову нелінійність у коливальний контур генератора.

Аналітичне дослідження фізичних процесів у генераторі на рис. 1а здійснено з використанням математичної моделі Аніщенко-Астахова вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = mx_1 + x_2 - x_1x_3 - d \cdot G(x_1), \\ \dot{x}_2 = -x_1, \\ \dot{x}_3 = -gx_3 + g \cdot I(x_1) \cdot F(x_1), \end{cases} \quad (1)$$

де  $F(x_1)$  – нормована функція апроксимації статичної ВАХ діоду;

$G(x_1)$  – нормована функція апроксимації робочої вітки з сімейства ВАХ біполярної транзисторної структури;

$I(x_1)$  – функція, яка описує умову пропускання струму крізь діод у прямому напрямку;

$m$  – параметр автоколивальної системи, який пропорційний різниці внесеної в коливальний контур та розсіяної енергії ( $m=0,6\dots 1,2$ );

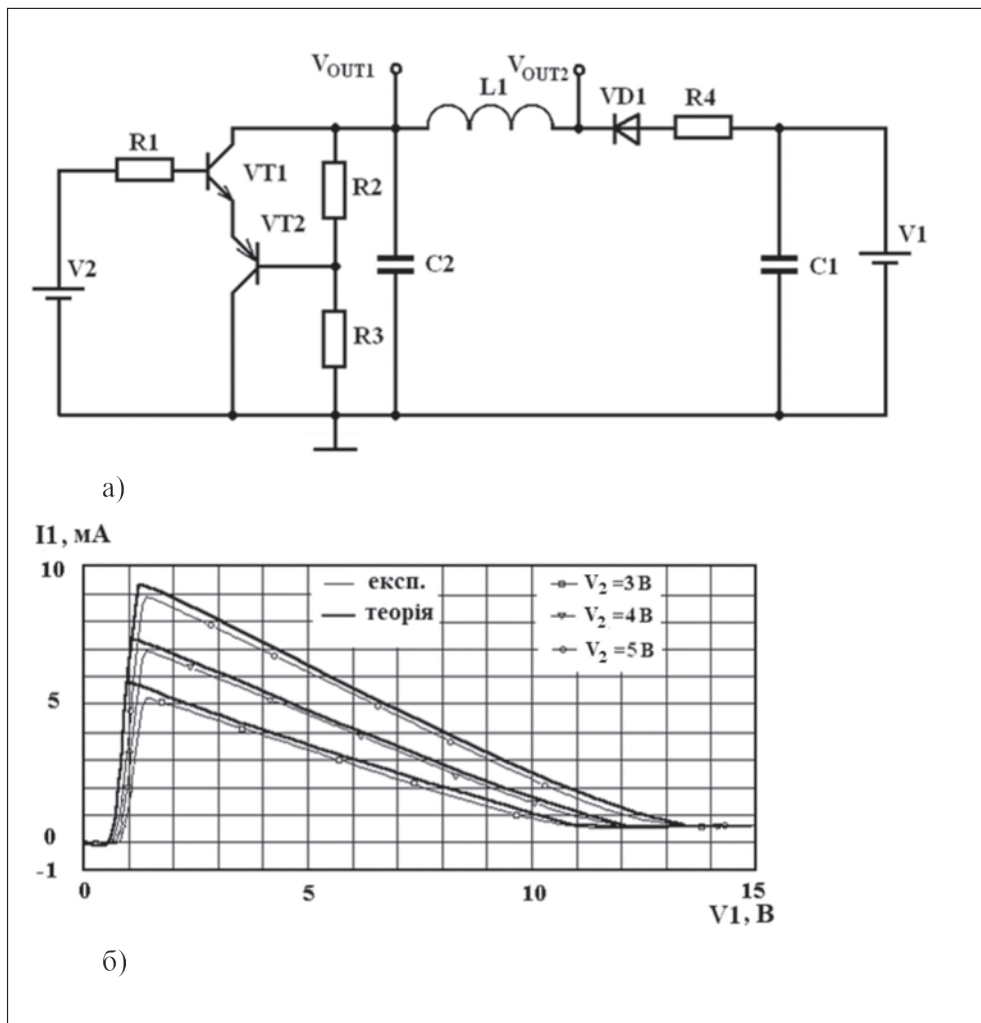


Рис. 1. Електрична схема генератора детермінованого хаосу (а) та сімейство ВАХ біполярної транзисторної структури з від’ємним опором (б)

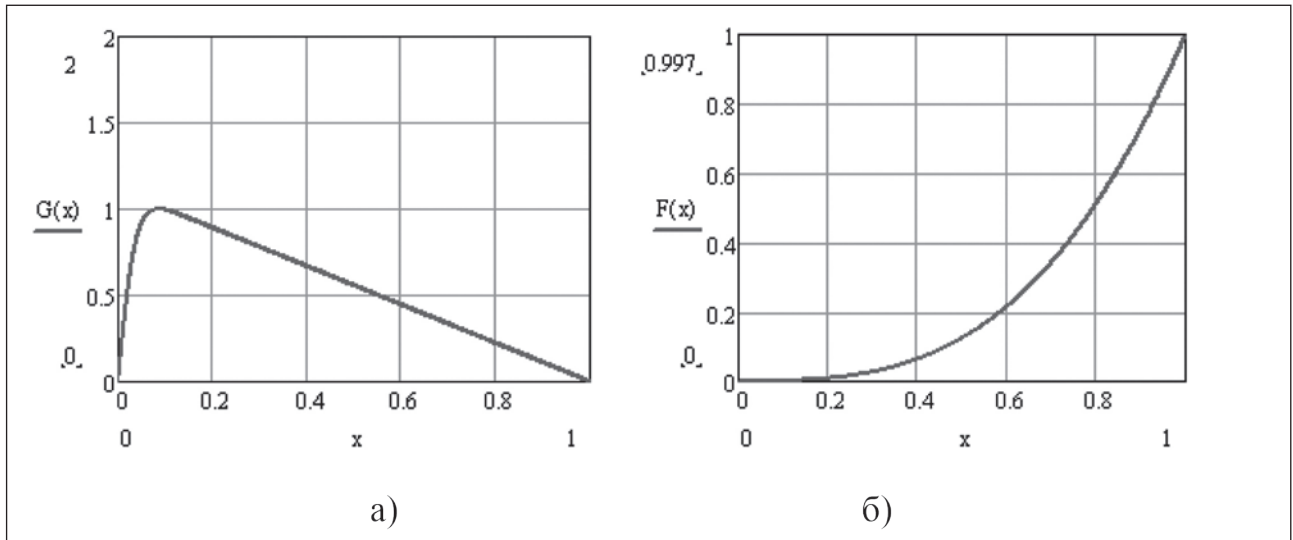


Рис. 2. Нормовані характеристики вітки ВАХ транзисторної структури VT1 – VT2 (а) та ВАХ діода VD1 (б)

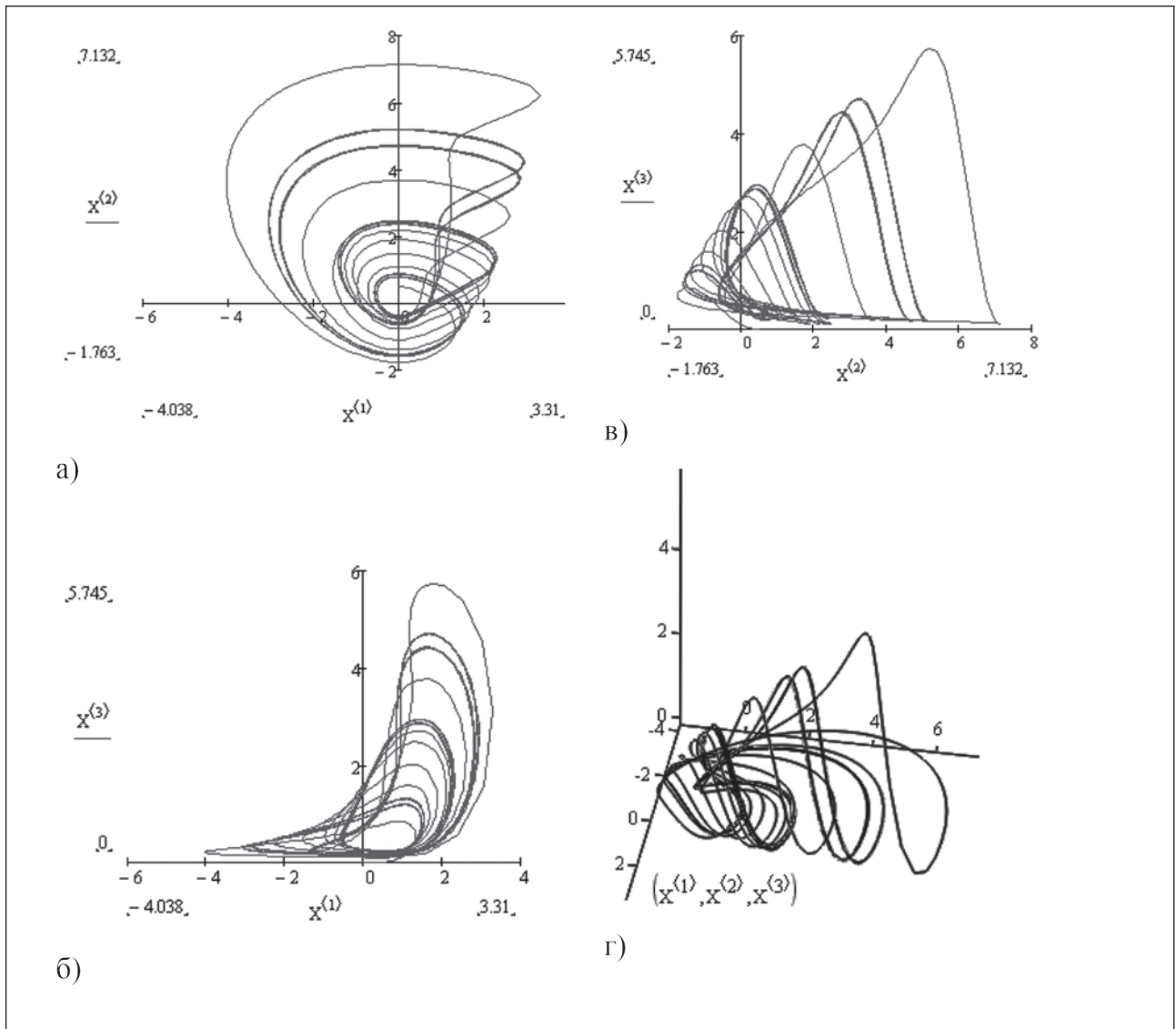


Рис. 3. Фазові портрети генератора детермінованого хаосу в площинах змінних  $x_1-x_2$  (а),  $x_1-x_3$  (б) і  $x_2-x_3$  (в) і в просторі змінних  $x_1-x_2-x_3$  (г)

$g$  – параметр автоколивальної системи, який пропорційний відношенню часу релаксації інерційного елемента ( $g=0,1\dots0,9$ );

$d$  – малий параметр, який відповідає ступеню впливу нелінійності крутизни ВАХ транзисторної структури ( $d=0,1\dots0,2$ ) [1, с. 175; 7, с. 57–59].

Для подальших теоретичних досліджень автором у [6] були отримані функції апроксимації в нормованих змінних нормованої гілки ВАХ біполярної транзисторної структури VT1 – VT2 (2) та нормованої ВАХ діода VD1 (3)

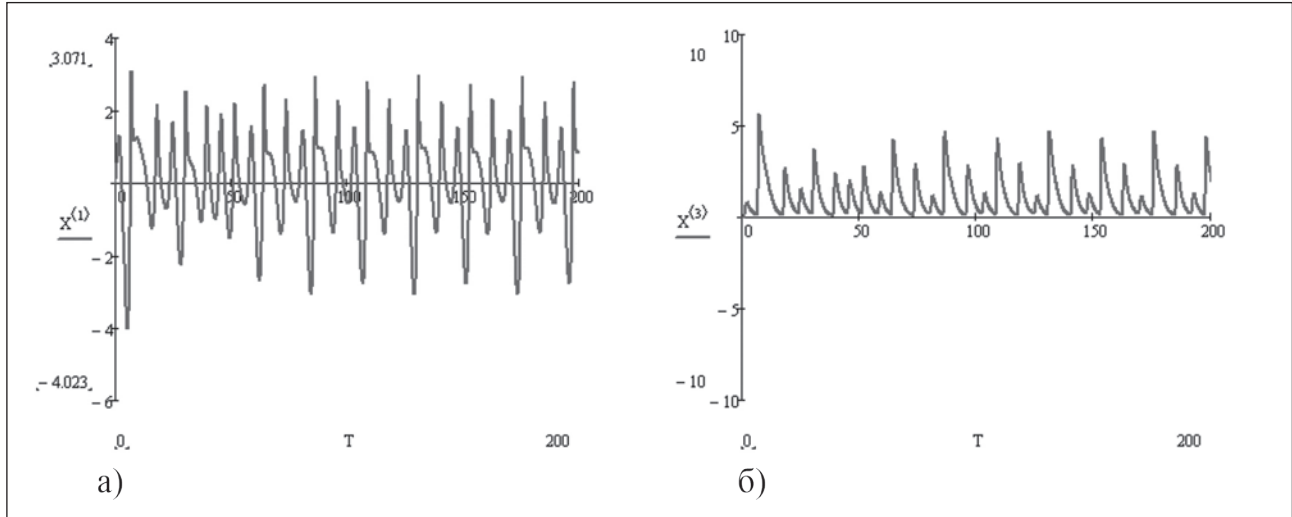


Рис. 4. Діаграми нормованих змінних  $x_1$ (а) і  $x_3$ (б) у безрозмірному часі  $T=\omega_0\tau$

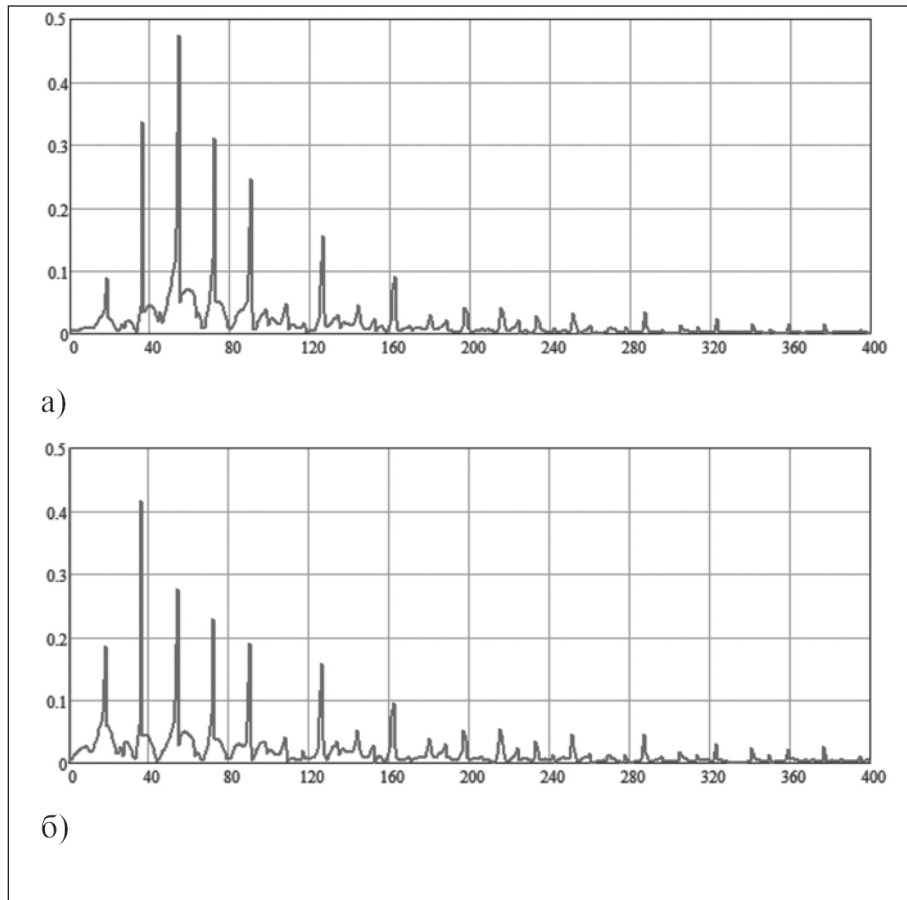


Рис. 5. Нормовані амплітудо-частотні спектри генерованих коливань динамічних змінних  $x_1$  (а) і  $x_3$  (б)

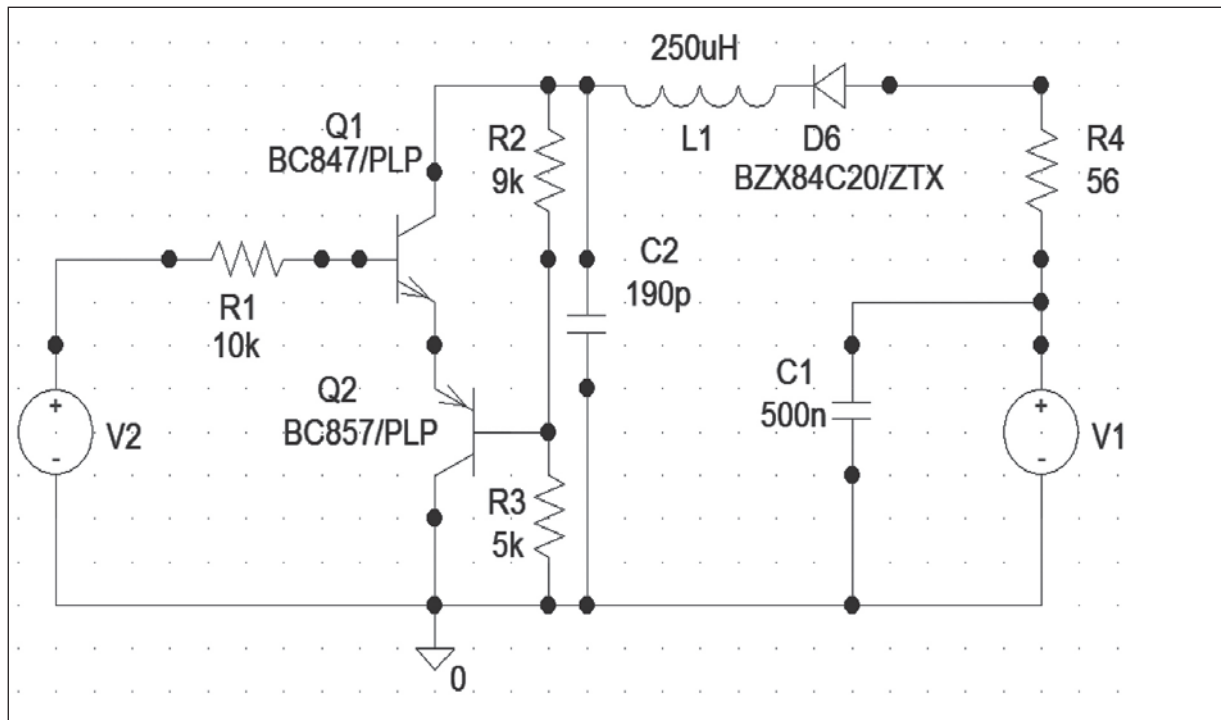


Рис. 6. Електрична схема генератора детермінованого хаосу в PSpiceOrcad 9.2

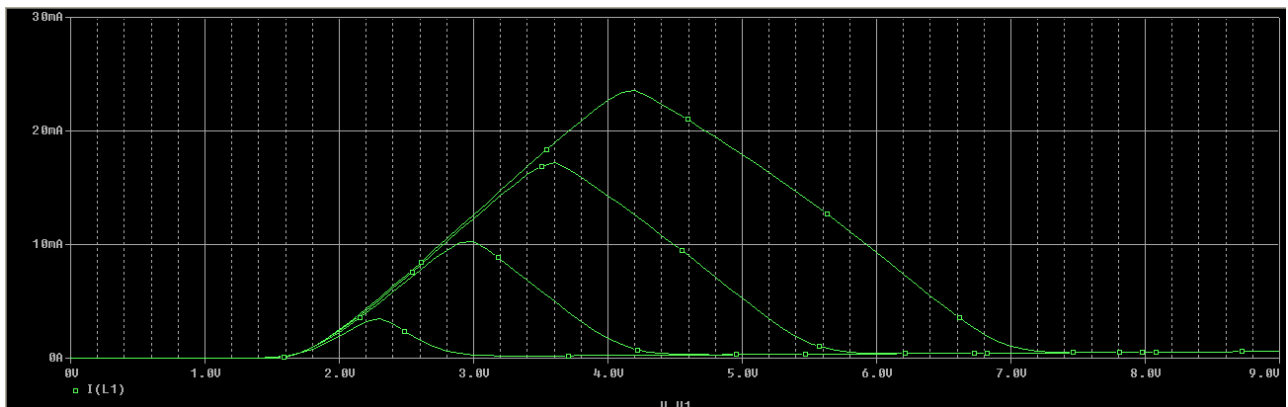


Рис. 7. Статичні вольт-амперні характеристики активного елемента генератора на основі біполярної транзисторної структури та діоду

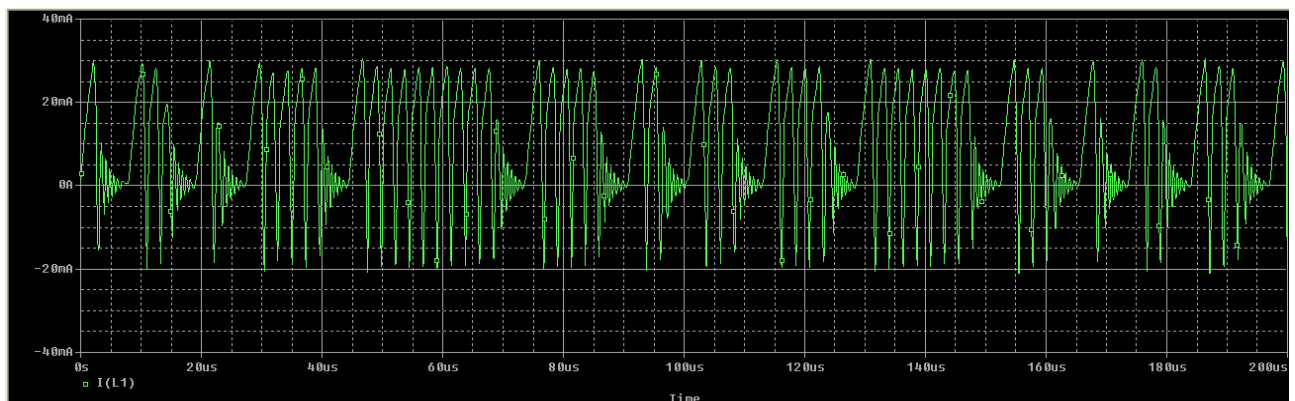


Рис. 8. Осцилограми коливань струму індуктивності L1

$$G(x_1) = 2.029 \cdot 10^{-3} x_1 + 1.114(1 - 1.002x_1) \tanh\left(\frac{25x_1}{1 - 1.002x_1}\right) \quad (2)$$

$$F(x_1) = 2.88 \cdot 10^{-6} x_1 + 2.074 \cdot 10^{-3} x_1^2 + 0.995 \cdot x_1^3 \quad (3)$$

$$I(x_1) = \begin{cases} 1, & x_1 > 0, \\ 0, & x_1 \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Графіки нормованої гілки ВАХ біполярної транзисторної структури VT1-VT2 і нормованої ВАХ діода VD1 показані на рис. 2.

Математичне моделювання системи нелінійних диференціальних рівнянь проведено в програмі MathCad 15.0 для таких коефіцієнтів:  $m = 1,117$ ,  $d = 0,01$ ,  $g = 0,5$ . Рішення системи диференціальних рівнянь здійснено методом Рунге-

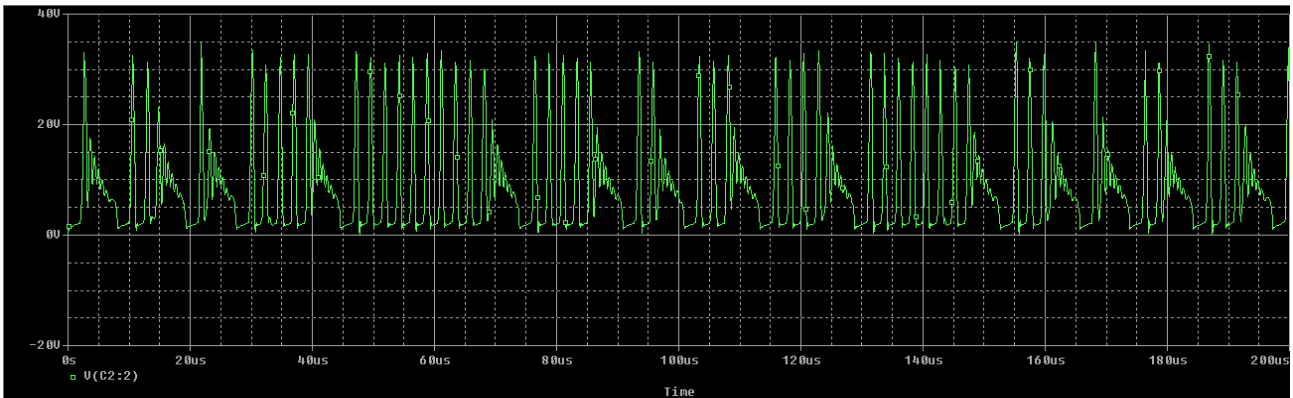


Рис. 9. Осцилограми коливань напруги на конденсаторі C2

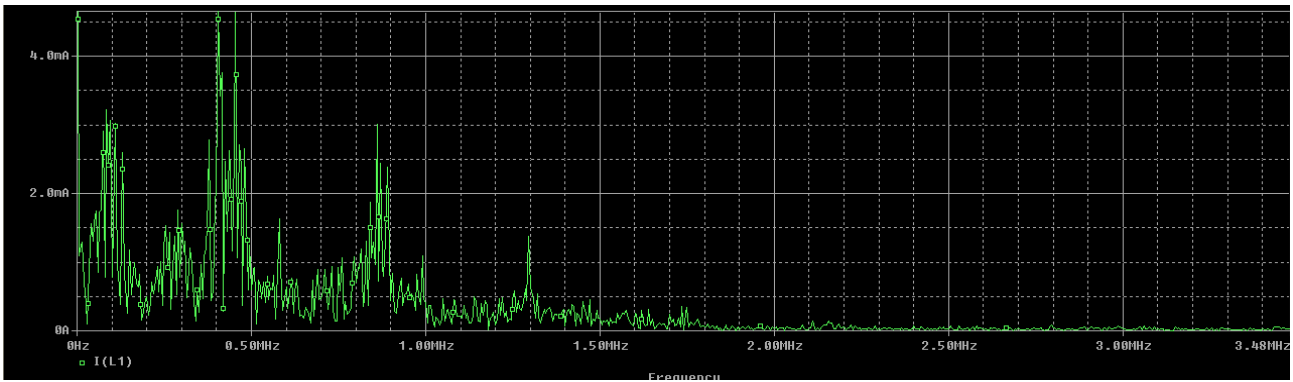


Рис. 10. Амплітудо-частотний спектр струму індуктивності L1

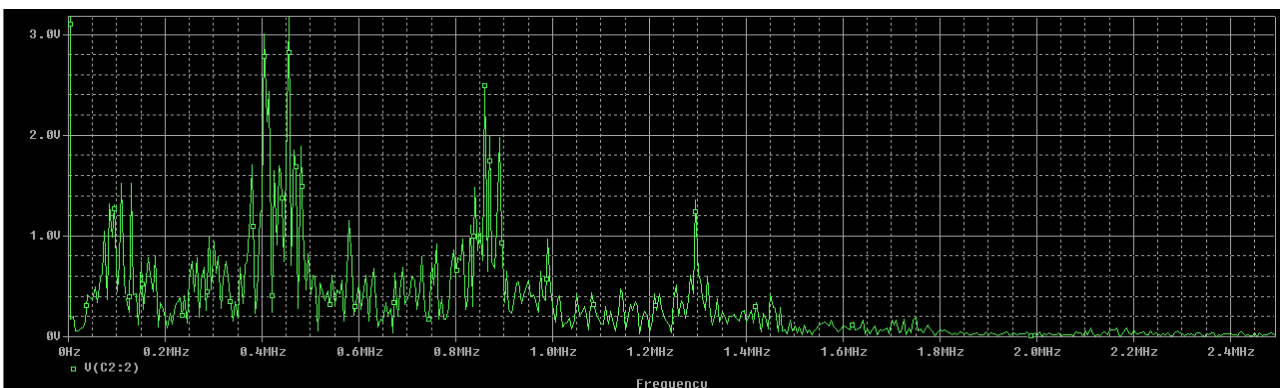


Рис. 11. Амплітудо-частотний спектр коливань напруги на конденсаторі C2

Кутта 4 порядку за допомогою стандартної функції  $rkfixed()$ . Результати моделювання хаотичного режиму генератора наведені на рис. 3 – рис. 5.

На рис. 16 разом із експериментально отриманим у [6] сімейством ВАХ біполярної транзисторної структури нанесено апроксимовані гілки ВАХ, які отримані за допомогою рівняння (2) з урахуванням масштабних коефіцієнтів при трьох значеннях напруги керування  $V_2$ .

У дослідженні динамічних процесів увагу зосереджено на ємнісній та індуктивній складових частинах коливального контуру генератора детермінованого хаосу. Динамічна змінна  $x_1$  пропорційна струму котушки індуктивності  $L_1$ , а динамічна змінна  $x_3$  пропорційна напрузі на конденсаторі  $C_2$ .

Була розроблена PSpice модель схеми генератора в програмі Schematics пакету схематичного моделювання Orcad 9.2, яка подана на рис. 6 [8]. Результати моделювання в PSpice Orcad 9.2 подані на рис. 7 – рис. 11.

Сімейство статичних вольт-амперних характеристик активного елементу генератора на основі біполярної транзисторної структури  $Q_1 - Q_2$  та діоду  $D_6$  наведено на рис. 7. На відміну від експериментальних ВАХ на рис. 16, вплив діоду полягає у зсуві на порогову напругу відкриття діоду, а вплив резистору – у зміні нахилу зростаючої гілки ВАХ (рис. 7).

Осцилограма електричних коливань струму індуктивності  $L_1$  наведена на рис. 8. Осцилограма коливань напруги на конденсаторі  $C_2$  наведена на рис. 9. Як видно з рис. 8 і рис. 9, електричні коли-

вання струму індуктивності та напруги на конденсаторі  $C_2$  є пачками імпульсів. Тривалість пачок і кількість імпульсів у них визначаються параметрами коливального контуру генератора.

На рис. 10 і рис. 11 наведені амплітудо-частотні спектри відповідно струму індуктивності  $L_1$  та напруги на конденсаторі  $C_2$ . Обвідна спектральної щільності обох електричних коливань нерівномірна з яскраво вираженими спектральними складовими частинами основної частоти генерації та двох бічних частот.

**Висновки.** У роботі наведено та досліджено електричну схему генератора детермінованого хаосу на основі біполярної транзисторної структури з від'ємним опором. Для аналітичних досліджень хаотичної динаміки генерованих електричних коливань використано математичну модель Анищенко-Астахова, яку доповнено нелінійним рівнянням апроксимації статичної ВАХ біполярної транзисторної структури за допомогою функції гіперболічного тангенсу. Отримано фазові портрети генератора, часові та частотні діаграми генерованих електричних коливань. Правильність проведених розрахунків підтверджена результатами комп'ютерного схематичного моделювання схеми генератора. Перевагами досліджуваного генератора є: 1) можливість реалізації за мікроелектронною технологією у вигляді мікросхеми; 2) можливість роботи в осциляторному, релаксаційному та хаотичному режимах; 3) електрична керованість режимами та параметрами генерованих коливань.

#### Список літератури:

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А. Генерация хаоса / под общ. ред. Дмитриева А.С. Москва: Техносфера, 2012. 424 с.
2. Шахтарин Б.И., Кобылкина П.И., Сидоркина Ю.А., Кондратьев А.В., Митин С.В. Генераторы хаотических колебаний: учеб. пособ. Москва: Гелиос АРВ, 2014. 248 с.
3. Elwakil A.S., Kennedy M.P. A low-voltage, low-power, chaotic oscillator, derived from a relaxation oscillator. *Microelectronics Journal*. 2000. № 31. P. 459–468.
4. Ferikoğlu A., Sarı Ya., Koker R. Design and Analysis of Negative Value Circuit Components in PSpice Simulation Software. *Computer Modelling and New Technologies*. 2013. Vol. 17. № 2. P. 53–59.
5. Van Ha Nguyen, Han Jung Song. Bifurcation Analysis of the Voltage Controlled Photosensitive Chaotic Oscillator. *CHIN. PHYS. LETT*. 2013. Vol. 30. № 6. P. 1–4.
6. Semenov A.O., Osadchuk O.V., Osadchuk Ya. A., Koval K.O., Prytula M.O. The Chaos Oscillator with Inertial Non-Linearity Based on a Transistor Structure with Negative Resistance. 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM 2016: Conference Proceedings. (Erlagol, Altai, 30 June – 4 July 2016), Erlagol, 2016. P. 178–184.
7. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е. Генератор Анищенко-Астахова как одна из базовых моделей детерминированного хаоса. *Известия Саратовского университета. Серия «Физика»*. 2005. Т. 5. Вып. 1. С. 54–68.
8. Semenov A., Osadchuk O. Modeling the Deterministic Chaos Microelectronic Oscillator Based on the Bipolar Transistor Structure with Negative Resistance. 2017 IEEE First Ukraine Conference on ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (UKRCON): Conference Proceedings. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute (May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine), Kyiv, 2017. P. 704–708.



**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА  
НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНОЙ ТРАНЗИСТОРНОЙ СТРУКТУРЫ  
С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ**

*В работе приведены результаты теоретических исследований и математического моделирования генератора детерминированного хаоса на основе биполярной транзисторной структуры с отрицательным сопротивлением. Получила дальнейшее развитие математическая модель Анищенко-Астахова, которая является одной из базовых моделей теории детерминированного хаоса. Предложено уравнение аппроксимации статической ВАХ биполярной транзисторной структуры с помощью функции гиперболического тангенса. Исследована динамика генерируемых хаотических колебаний путем математического моделирования. Получены нормированные временные диаграммы и амплитудно-частотные спектры хаотических колебаний напряжения на конденсаторе и тока индуктивности.*

**Ключевые слова:** генератор, детерминированный хаос, транзисторная структура, математическая модель, отрицательное сопротивление, фазовый портрет.

**RESEARCH OF THE DETERMINISTIC CHAOS OSCILLATOR BASED  
ON A BIPOLAR TRANSISTOR STRUCTURE WITH NEGATIVE RESISTANCE**

*The paper presents results of theoretical researching and mathematical modelling the deterministic chaos oscillator based on a bipolar structure with negative resistance. The Anishchenko-Astakhov mathematical model, one of the basic models of the deterministic chaos theory, was further developed. The equation for approximating the bipolar transistor structure static  $I-V$  curve with a hyperbolic tangent function was proposed. Generated chaotic oscillation dynamics was studied by mathematical modelling. Normalized time diagrams and amplitude-frequency spectra for chaotic oscillations of a capacitor voltage and inductivity current were obtained.*

**Key words:** oscillator, deterministic chaos, transistor structure, mathematical model, negative resistance, phase portrait.

УДК 001.891.53

**Цирульник С.М.**

ЦК «Радіотехніка»

Вінницький технічний коледж

**Ткачук В.М.**

Вінницький технічний коледж

**Роптанов В.І.**

Вінницький національний технічний університет

## МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ЛОГІЧНОГО АНАЛІЗАТОРА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

*У статті розглядаються питання, які пов'язані з особливостями застосування багато-канального логічного аналізатора сигналів для дослідження цифрових інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем та впровадження цих досліджень у навчальний процес. Запропонована схема лабораторного макета дає змогу дослідити та проаналізувати логічним аналізатором особливості обміну інформацією між мікроконтролером та LCD індикатором із контролером HD44780, цифровим датчиком температури DS18B20 з інтерфейсом 1-Wire, годинником реального часу DS1307 з інтерфейсом I2C.*

**Ключові слова:** логічний аналізатор, інтерфейс інформаційно-вимірювальних систем, аналізатор протоколу, діагностування цифрових та мікропроцесорних пристроїв.

**Постановка проблеми.** Широке поширення радіоелектронних пристроїв із застосуванням цифрової обробки сигналів зумовлює підвищений інтерес до питань діагностування їх технічного стану. Одним із різновидів діагностування цифрових вузлів і блоків є покомпонентне тестове діагностування, застосування якого на етапі проектування та виготовлення цифрових пристроїв дає змогу визначити правильність їх функціонування і здійснити процедуру пошуку несправностей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У напрямі розвитку нових методів та засобів технічного діагностування цифрових об'єктів досягнуто значних успіхів. Про це свідчить велика кількість різноманітної літератури, яка опублікована відомими науковими школами таких провідних учених, як: П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоян, В.А. Гуляев, А.В. Мозгалецький, В.Г. Тоценко, О.М. Романкевич, Ю.Г. Савченко, І.А. Біргер, Н.Н. Пономарьов, Ю.М. Туз, Е.Т. Володарський, М.П. Цапенко, Н.В. Кіншт, С.П. Ксенз, М.П. Байда, Ю.В. Малишенко, В.П. Чіпуліс, С.Г. Шаршунов, П.С. Давидов, Б.Я. Ліхтциндер, В.С. Харченко,

А.В. Дрозд, В.М. Локазюк, В. Хорвуд, С. Бостром, І. Кінгз, Г. Майєрс, А. Олби тощо [1].

Складність сучасних пристроїв та особливості технологій їх виготовлення обмежують застосування наявних методів діагностування, вимагаючи пошуку певних компромісів. Досвід багатьох провідних фірм світу: CheckSum, GenRed, Agilent 3070, DyagnoSYS (США), Polar (Британія), Гранит (Росія), MicroCraft (Японія), Seico (Італія) [1], які проектують сучасне діагностичне обладнання, показав, що перспективним напрямом випуску якісних цифрових пристроїв є сумісне застосування і подальше удосконалення таких методів тестування, як функційне, внутрішньосхемне сканування та метод периферійного сканування об'єктів.

**Постановка задачі.** На різних етапах проектування та налагодження цифрових систем використовуються такі спеціалізовані апаратні засоби: логічні аналізатори, осцилографи змішаних сигналів, різні види плат розвитку, схемні симулятори і емулятори, налагоджувальні комплекси, емулятори пам'яті, програматори [2].

На сучасному рівні складності цифрової техніки знання методів параметричного, функцій-

ного, тестового або комбінованого контролю і діагностування стає обов'язковим для фахівців у галузі розроблення й експлуатації цифрових та мікропроцесорних пристроїв. Актуальним є впровадження у навчальну пізнавальну діяльність студентів спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», 123 «Комп'ютерна інженерія», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», 171 «Електроніка», 172 «Телекомунікації та радіотехніка», 173 «Авіоніка» сучасних апаратних засобів підтримки проектування та відлагодження цифрових та мікропроцесорних систем. Одним із доступних та ефективних інструментальних засобів, якому мало приділяють уваги в лабораторних практикумах, є логічний аналізатор.

**Метою статті** є ознайомлення з методикою дослідження та аналізу інтерфейсів I2C, 1-Wire, LCD індикатора багатоканальним логічним аналізатором сигналів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Логічний аналізатор «Saleae Logic».** Під час пошуку складних несправностей у дискретних

пристроях виникає необхідність одночасного спостереження кількох сигналів поведінки схеми (одноразових і аперіодичних). Таку змогу дає логічний аналізатор.

Логічний аналізатор (далі – ЛА) є комбінацією багатоканального реєстратора двійкових сигналів, побудованого на базі швидкодіючого запам'ятовуючого пристрою з розвинутою системою управління процесом запису даних, і дисплея, що відображає записану в пам'ять інформацію у формі, що є зручною для аналізу [3].

Відповідно до вимог сьогодення, ЛА можна розділити на два основних типи: аналізатори мікропроцесорних систем на програмному рівні опису (embedded microprocessor software debug applications) – аналізатори станів (state analyser) та аналізатори цифрових систем на логічному та часовому рівні (hardware debug applications) – аналізатори часових співвідношень (timing analyser) [2].

Для налагодження мікропроцесорних систем треба не тільки зафіксувати логічний стан, що передається по системній магістралі, а й ідентифікувати інформацію (дані, команди або сигнали керування). Для цього вхідні канали аналізатора розбиваються на дві або три групи. Одна група каналів записує адреси, друга – дані, третя – команди та коди керування.

Найбільш поширеною формою представлення цих ЛА є часові діаграми та таблиці станів.

Вітчизняний ринок засобів діагностування і налагодження цифрових систем має свої особливості. Часто вирішальним фактором є ціна виробу, у зв'язку з чим набули поширення ЛА, виконані у вигляді периферійних пристроїв або плат розширення для персональних комп'ютерів. Однею

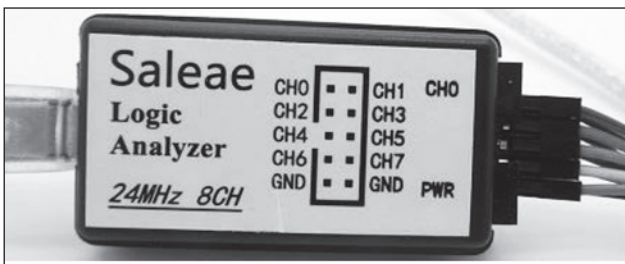


Рис. 1. Зовнішній вигляд 8-канального USB логічного аналізатора

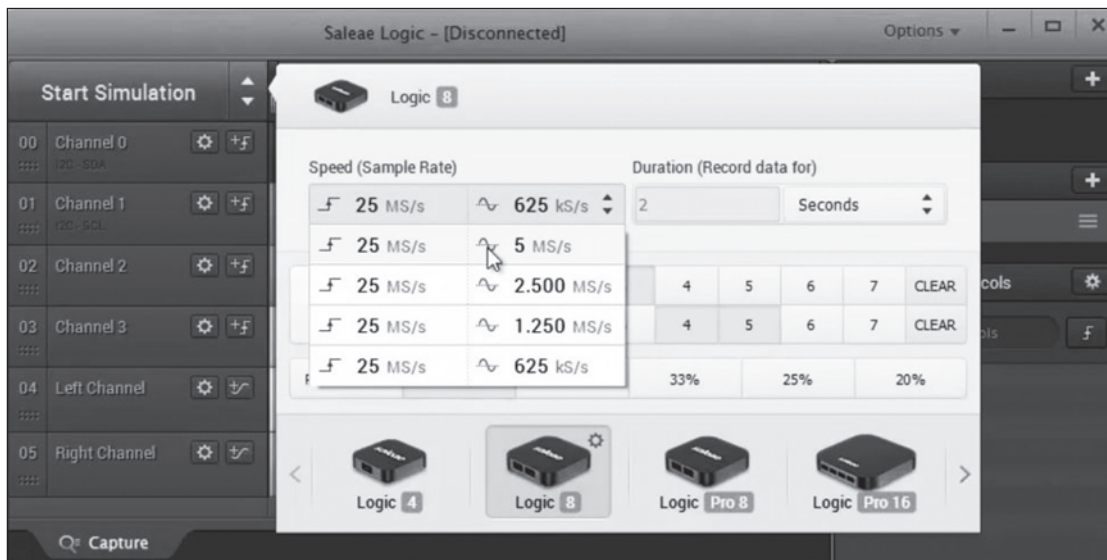


Рис. 2. Програмне забезпечення Saleae Logic. Режим налаштувань

з доступних на вітчизняному ринку є продукція компанії «Saleae», яка пропонує цілий ряд ЛА на базі персонального комп'ютера (ПК) із числом каналів від 4 до 16 і швидкістю запису до 500 МГц [4]. Налаштування системи та візуалізація отриманої інформації виконується програмною оболонкою «Saleae Logic».

Робота з 8-канальним USB логічним аналізатором (рис. 1) можлива тільки після установки програмного забезпечення. Після підключення до вільного USB порта ПК зеленим кольором загоряється світлодіод PWR. Logic Analyzer забезпечує частоту опитування 24 МГц на кожен канал, якщо на шині USB відсутні інші пристрої та комп'ютер має достатню продуктивність. Якщо USB-контролер обслуговує інші пристрої, то частота опитування знижується до 16 МГц або 12 МГц. Після запуску програмного забезпечення «Saleae Logic» (рис. 2) на екран виводиться основне вікно аналізатора, на якому присутнє поле діаграми з вісьма даних для 8 каналів та мітками часу, кнопки вибору бажаного об'єму вибірки та частоти опитування каналів. Заголовок програми Disconnected / Connected змінюється, коли логічний аналізатор підключений до ПК.

На рис. 2 показано режим налаштування програмного забезпечення, який викликається натисканням на правий кут кнопки «Start Simulation». У цьому режимі необхідно вибрати «Logic8»; встановити частоту опитування (Speed) – 25MS/s для цифрових сигналів, 5MS/s для аналогових сигналів; час аналізу сигналів (Duration) – 2 с; вибрати канали для захоплення та режим захоплення за натисненням кнопки або за подію по тригеру.

Програмне забезпечення дає змогу у зручному виді переглядати записані дані, об'єм та частоту зняття яких задається програмно. Передбачений режим курсорних вимірювань, вимірювань частоти та тривалості сигналів. Є можливість експорту даних у зручних форматах для документування.

Для вимірювання часових параметрів передбачені такі режими:

- тривалість (Width): час між двома виділеними фронтами сигналу;
- період (Period): час, між трьома виділеними фронтами сигналу;
- частота (Frequency): величина, що обернена до періоду;
- шпаруватість (Duty Cycle): % часу, при якому сигнал був у стані «1» за певний період;
- байт (Byte): цифрове представлення усіх 8-ми каналів у заданий момент часу;

- T1: абсолютне значення часу, що задане маркером T1;
- T2: абсолютне значення часу, що задане маркером T2.
- |T1 - T2|: час, що пройшов між маркерами.

Приклад аналізу та вимірювання параметрів цифрового сигналу за допомогою логічного аналізатора наведений на рис. 3.

Програмне забезпечення Saleae Logic дає змогу аналізувати багато сучасних інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем (UART, I2C, SPI, 1Wire, CAN та ін.) [4]. Для додавання аналізатора протоколу необхідно вибрати його з меню на

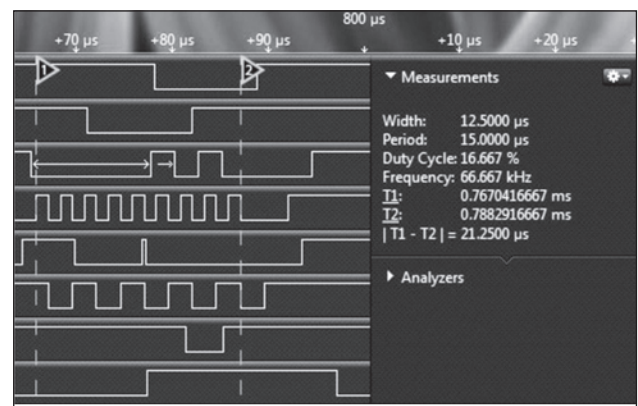


Рис. 3. Saleae Logic. Вимірювання параметрів цифрових сигналів

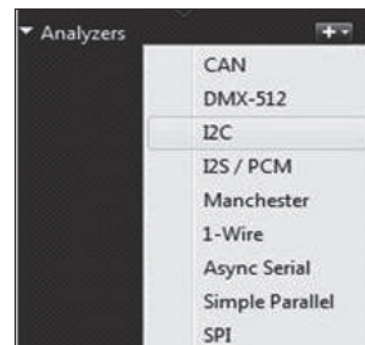


Рис. 4. Вибір аналізатора протоколів

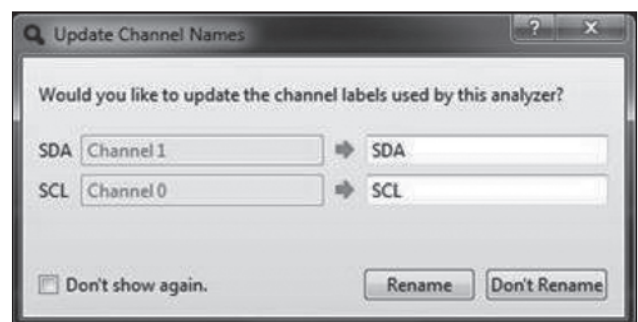


Рис. 5. Налаштування аналізатора протоколів I2C

панелі аналізаторів (рис. 4) та вказати, який канал за який сигнал відповідає (рис. 5). Після додавання/редагування аналізатора він автоматично обробляє усі накопичені в каналі дані (рис. 6).

Методика дослідження інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем. Для навчання роботи з логічним аналізатором та досліджен-

ням інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем пропонується лабораторний макет (рис. 7), який являє собою годинник-календар із давачем температури [5]. Схема складається з контролера керування ATtiny2313 (U1), LCD індикатора 16x2 на HD44780, годинника реального часу DS1307 (U3) з інтерфейсом I2C, давача темпера-

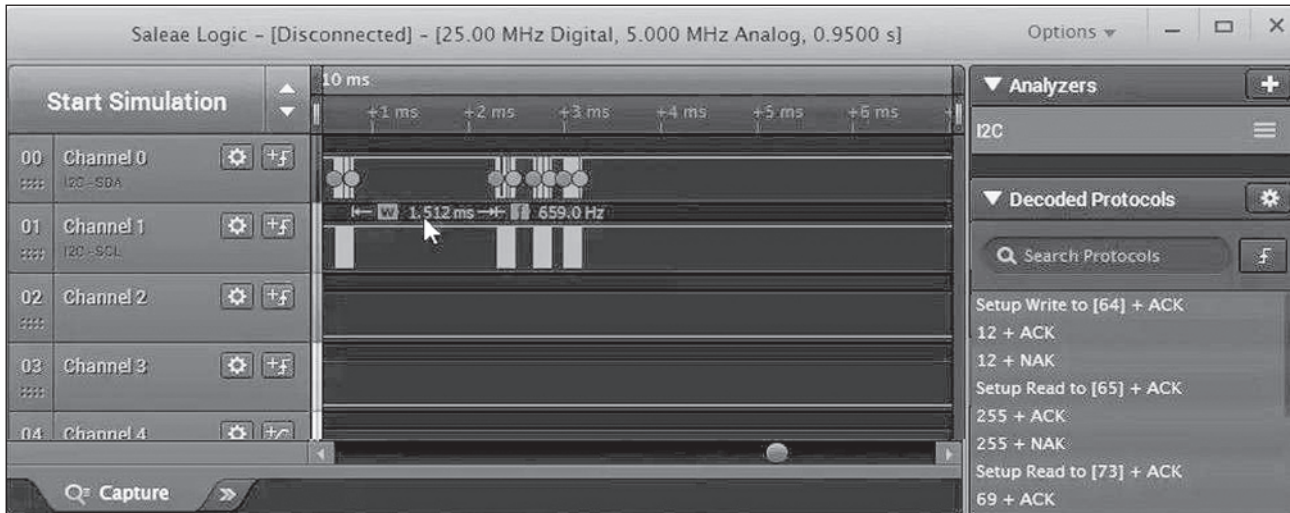


Рис. 6. Аналіз та декодування інформації шини I2C

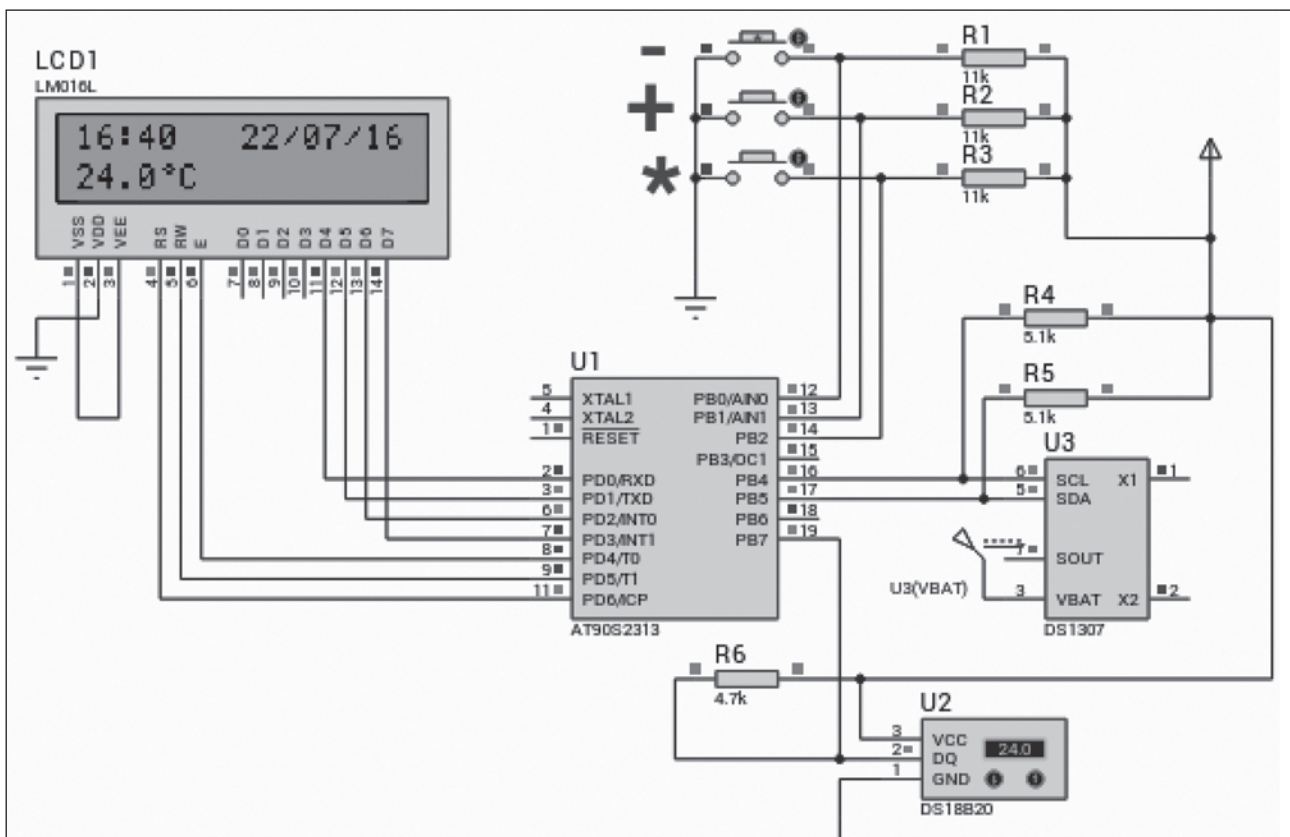


Рис. 7. Схема лабораторного макета

тури DS18B20 з інтерфейсом 1-Wire. Кнопками «\*», «+» та «-» установлюється значення годин та календаря. В основному циклі програми відбувається опитування натиснення кнопок. За перериванням таймера, орієнтовно, раз за секунду, мікроконтролер отримує значення температури, дані від годинника реального часу, обробляє ці дані та виводить їх на LCD індикатор.

1. Ознайомитись із конструкцією лабораторного макету (рис. 8) та логічного аналізатора (рис. 1).

2. Підключити логічний аналізатор до персонального комп'ютера. Підключити лабораторний

макет до персонального комп'ютера. Встановити поточну дату та час на LCD індикаторі. З'єднати контакти SCL, SDA лабораторного макету з Logic Analyzer. Запустити програмне забезпечення «Saleae logic» та налаштувати його для роботи (рис. 2).

3. Підключити аналізатор протоколів I2C (рис. 3, 4) та виконати захоплення сигналів логічним аналізатором. Провести аналіз даних на лінії SDA. Провести ретельний аналіз даних із поясненням особливостей обміну інформації між МК (U1) та DS1307 (U3) (рис. 7) [6; 7]. Визначити фізичну

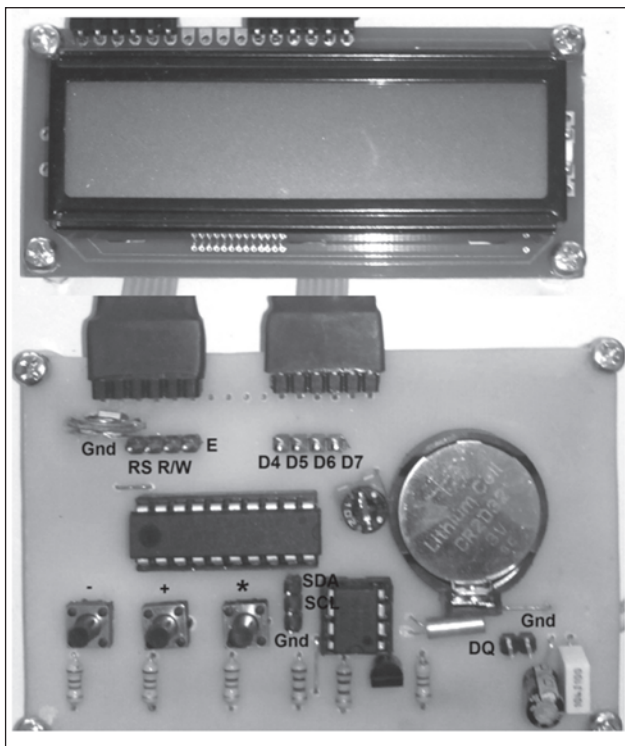


Рис. 8. Зовнішній вигляд лабораторного макета

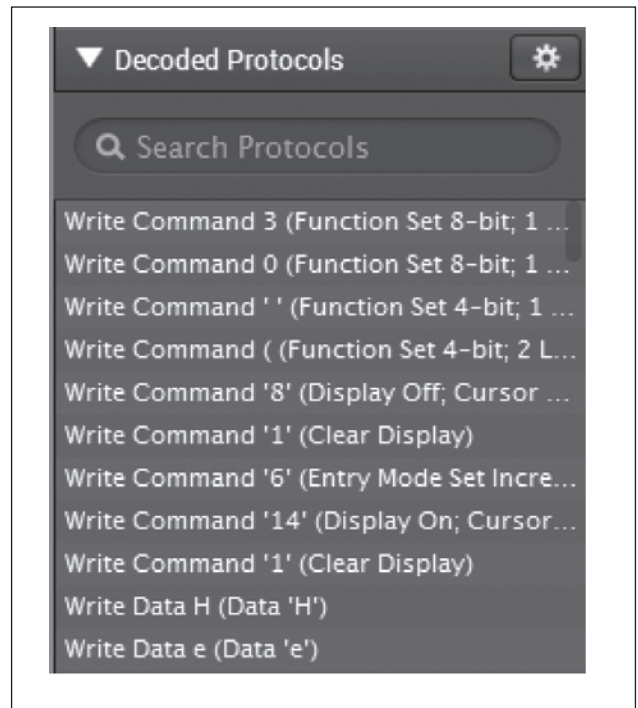


Рис. 10. Приклад декодування протоколу паралельного інтерфейсу LCD індикатора з контролером HD44780

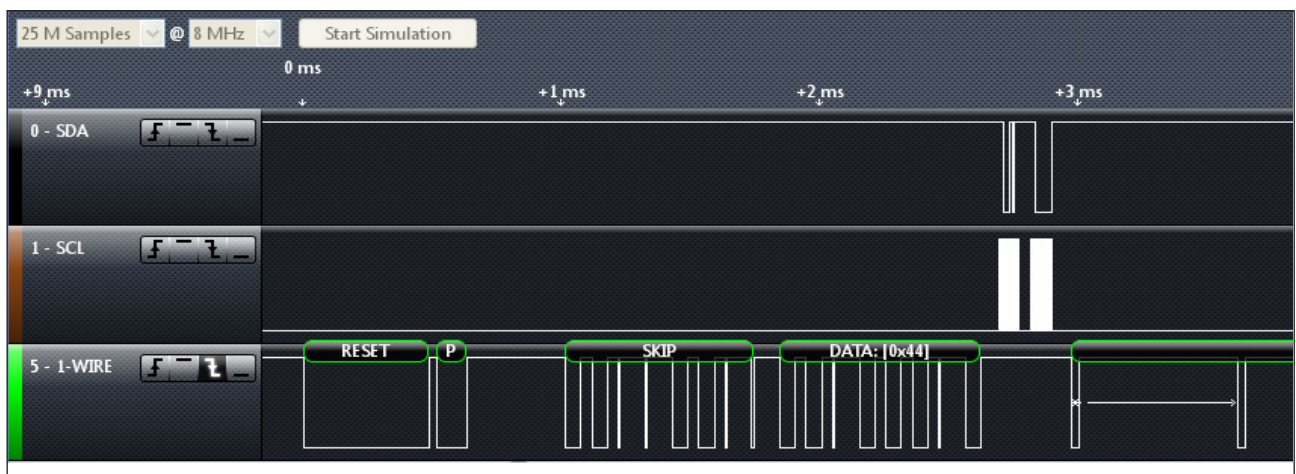


Рис. 9. Аналіз обміну інформації по шині 1-Wire

адресу DS1307 (U3), режим роботи (Read/Write) та дані, що передаються до МК. Виміряти параметри імпульсного сигналу на лінії SCL та задокументувати отриману інформацію.

4. З'єднати контакт DQ лабораторного макету з Logic Analyzer. Підключити аналізатор протоколів 1-Wire, налаштувати його та виконати захоплення сигналів логічним аналізатором. Провести аналіз обміну інформацією між МК (U1) та давачем температури DS18B20 (U2) по шині 1-Wire. Визначити команди мережного та транспортного рівня, що передає МК (рис. 9) [6; 7]. Визначити коди даних та CRC код. Задокументувати отриману інформацію. Показати на часовій діаграмі такі елементи: 1-Wire Reset, Presence Pulse, Overdrive commands and data, All Standart ROM commands, Data Bytes. Виміряти тривалість імпульсу 1-Wire Reset, паузи та імпульсу присутності 1-Wire пристрою Presence Pulse.

5. Підключити шупи логічного аналізатора до контактів LCD індикатора: DB7-CH0, DB6-CH1,

DB5-CH2, DB4-CH3, E-CH4, R/W-CH5, RS-CH6. Підключити аналізатор протоколів HD44780, налаштувати його та виконати захоплення сигналів логічним аналізатором. Провести аналіз обміну інформацією між МК (U1) та LCD індикатором (рис. 10). Навести коди команд та даних, що передаються мікроконтролером. Розшифрувати їх [6; 7]. Порівняти їх з інформацією, що відображається на індикаторі.

**Висновки.** Запропонована методика дослідження дає змогу набути знання та отримати практичні навички з дослідження та аналізу роботи цифрових та мікропроцесорних систем із різноманітними інтерфейсами інформаційно-вимірювальних систем та протоколами передавання даних, що необхідно для параметричного, функційного, тестового та комбінованого контролю і діагностування інтегральних схем різного ступеня інтеграції, а також змонтованих на їх базі вузлів, пристроїв, що розміщують на друкованих платах.

#### Список літератури:

1. Азаров О.Д., Перевозніков С.І., Біліченко Н.О., Озеранський В.С. Діагностування цифрових пристроїв. Навчальний посібник. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2009. 74 с.
2. Перцовский М., Воробьев Е., Трифонов А. Применение логических анализаторов в тестировании цифровой техники. Современные технологии автоматизации. 2000. № 2. С. 6–12.
3. Озеранський В.С. Перевозніков С.І. Особливості використання логічного аналізатора в системах покомпонентного діагностування цифрових пристроїв. Інтернет Освіта Наука: матеріали X Міжнар. наук.-техн. конф. ІОН-2016, 11–14 жовт. 2016, Вінниця. 2016. С. 84–85.
4. Офіційна сторінка компанії Saleae. URL: <http://www.saleae.com/logic>.
5. Радиокот. Часы, календарь, термометр. URL: <http://radiokot.ru/circuit/digital/home/54>.
6. Цирульник С.М. Лисенко Г.Л. Проектування мікропроцесорних систем. Вінниця: ВНТУ, 2012. 191с.
7. Рюмик С.М. 1000 и одна микронтроллерная схема. Вып. II. М.: «Додека-XXI», 2011. 400 с.

## МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с особенностями применения многоканального логического анализатора сигналов для исследования цифровых интерфейсов информационно-измерительных систем и внедрением этих исследований в учебный процесс. Предложенная схема лабораторного макета позволяет исследовать и проанализировать логическим анализатором особенности обмена информацией между микроконтроллером и LCD индикатором с контроллером HD44780, цифровым датчиком температуры DS18B20 с интерфейсом 1-Wire, часами реального времени DS1307 с интерфейсом I2C.*

**Ключевые слова:** логический анализатор, интерфейс информационно-измерительных систем, анализатор протокола, диагностирование цифровых и микропроцессорных устройств.

## THE TECHNIQUE OF APPLYING LOGIC ANALYZER TO STUDY THE INTERFACES OF INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

*Questions, which related to specific applications of multi-channel logic analyzer of signals to digital interface research information and measurement systems and implementation of research in an educational process, examined in the article. The layout of the laboratory model represents a clock-calendar on the microcontroller ATtiny2313 with temperature sensor DS18B20 interface 1-Wire, real time clock DS1307 I2C interface and LCD display with HD44780 controller with parallel interface control. Logical multichannel signal analyzer connects to a PC via USB. Research and analysis of signals performed by free software "Saleae logic". The technique allows the study to acquire knowledge and gain practical skills in research and analysis of digital and microprocessor systems upcoming embedded developer.*

**Key words:** logic analyzer interface information and measurement systems, protocol analyzers, diagnostics digital and microprocessor devices.

## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 631.171:534-8

**Антипчук Б.О.**

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»  
Національної академії аграрних наук України

### ЧИ ДОЦІЛЬНО ЗАСТОСОВУВАТИ УЛЬТРАЗВУКОВИЙ МЕТОД У РОБОТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ УЩІЛЬНЕНОГО ШАРУ ҐРУНТУ?

*У статті, огляду на закони й основні положення акустики, розглядається питання ефективності практичного застосування ультразвукового методу в роботі автоматизованої системи розуцільнення ґрунту в процесі його обробки. Саме завдяки певним властивостям середовища можливе проходження в ньому звукової хвилі. Чи мають такі властивості ґрунти? Даючи відповідь на це запитання, проводимо аналіз впливу механічної структури ущільненого ґрунту на проходження ультразвукової хвилі. Які основні параметри проходження ультразвуку враховані в роботі експериментального радіофізичного пристрою цієї автоматизованої системи? Як впливає хвильовий опір ущільненого ґрунту на показники роботи пристрою та системи загалом? На всіх цих питаннях, які є важливими в роботі цієї автоматизованої системи, зосереджено особливу увагу.*

**Ключові слова:** автоматизація виробництва, ультразвук, пружна хвиля, коефіцієнт відбиття, швидкість звуку, модуль пружності, хвильовий опір.

**Постановка проблеми.** Сучасний представник агробізнесу зацікавлений у тому, щоб максимально автоматизувати процеси на своєму виробництві, тому сільське господарство в теперішніх умовах є однією з галузей, де автоматизація проходить прискореними темпами. Саме автоматизація виробництва багато в чому сприяє високій конкурентоздатності й рентабельності підприємства.

Розроблення автоматизованої системи виявлення глибини залягання ущільненого шару ґрунту (плужної підшви), яка спроектована на основі ультразвукового методу, дасть змогу вирішити два надзвичайно важливі для аграрного виробника питання: збільшення врожайності сільськогосподарських культур за рахунок покращення кореневого живлення рослин у результаті уникнення поверхневого розуцільнення ґрунту та економія палива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Активне впровадження сучасних систем автома-

тизації АПК насатило ринок базовими технологіями моніторингу сільськогосподарської техніки, такими як GPS-трекери, датчики рівня і витрат палива тощо. Але натепер не всі процеси вдається контролювати в автоматичному режимі. Серед них й автоматизація розуцільнення ґрунту. У силу поставленого завдання найбільший інтерес становила література з основ акустики, ультразвуку, електроніки, радіометрії та механіки й фізики ґрунтів.

Виявляється, що ультразвукові коливання з ґрунтом практично не досліджуються в ехолокації через неможливість застосування ультразвуку для підповерхневого зондування землі на велику глибину, проте ультразвук уже давно застосовують для хімічного та механічного аналізу ґрунтів [5, с. 18–22]. Також чимало є досліджень відносно швидкості звукової хвилі в ґрунтах з метою визначення їх міцності [5, с. 77–86].

**Постановка завдання.** Опираючись на власні проведені дослідження та основи акустики, за мету



ставиться доведення наявності ефекту непроходження звуку крізь надущільнений шар ґрунту через його механічні й фізичні властивості. Саме з урахуванням такого ефекту та часового проміжку повернення хвилі ультразвуковий метод можна сміливо використати в роботі цієї автоматизованої системи, тим паче що глибина сканування не є надто великою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Спочатку з'ясуємо, що являє собою ця автоматизована система (рисунок 1).

Про принцип роботи цієї системи вже є публікації. Варто лише зазначити, що, згідно із зображенням на дисплеї блоку індикації та керування, водій збільшує або зменшує глибину ходу ґрунторозпушувача, тим самим уникаючи поверхневого розушільнення ґрунту й надмірного витрачання паливних ресурсів. Як видно з рисунка 1, основним елементом цієї системи є ультразвуковий датчик, проте застосування ультразвуку в ехолотації ґрунтів завжди викликає багато суперечок, і це справедливо, адже ґрунти – це не зв'язані між собою частинки, аморфна структура, яка не здатна передавати деякий діапазон частот.

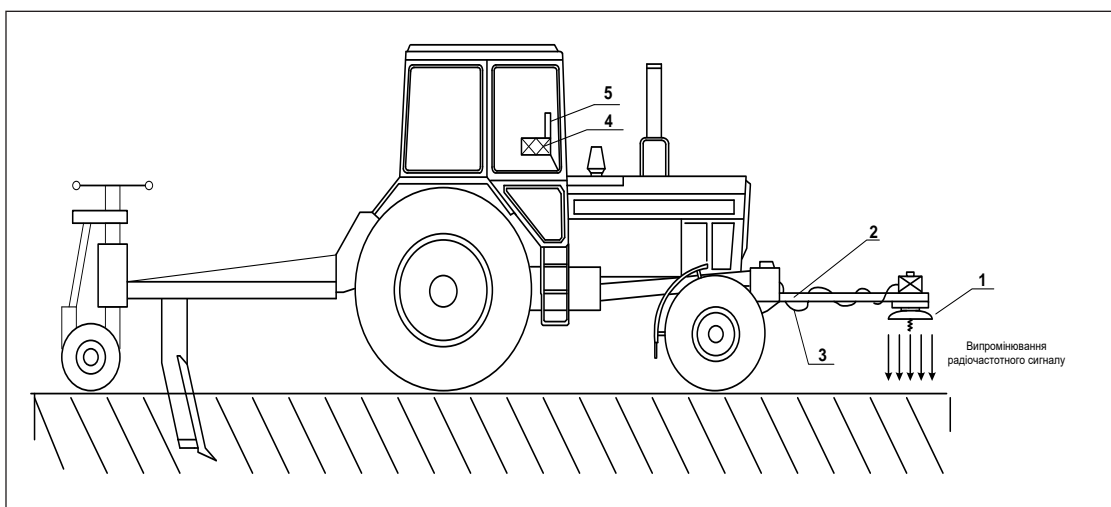
Щоб проаналізувати можливість використання ультразвукового методу в автоматизованій системі розушільнення ґрунту, потрібно розібратись у процесах розповсюдження ультразвуку й з'ясувати, що являє собою ущільнений ґрунт як акустичне середовище.

Ультразвук – це механічні коливання частинки середовища, які розповсюджуються в ній у

виділі поперемінних стиснень і розрідження середовища. Якщо в певному об'ємі середовища спричинити механічне збудження, то частинки середовища цього об'єму зміщуються з положення спокою й починають рухатись. Через пружні сили, які діють між частинками, рух, що виник, буде послідовно передаватись частинкам сусіднього об'єму, деформуючи його, і збудження з деякою швидкістю буде розповсюджуватись у середовищі від одного об'єму до іншого. Такий рух прийнято називати хвильовим рухом або хвилею. Причому картина розповсюдження пружних хвиль буде однаковою в будь-якому середовищі: твердому, рідкому та газоподібному.

Хвиля, яка віддаляється по середовищу від місця виникнення з великою швидкістю, залежить виключно від властивостей самого середовища, а саме: чим більша пружність середовища, тим більші пружні збудження, які виникають у середовищі під час деформації, чим більше збудження передається від частинки до частинки, тим більша швидкість звуку; чим більша щільність, тим повільніше частинки набирають швидкість під дією пружних збуджень, тим швидкість звуку менша. Отже, у всіх питаннях акустики потрібно враховувати як пружність і щільність, так й інерційні властивості середовища. Від інших властивостей середовища його акустична поведінка не залежить [3, с. 10].

Саме всі механічні властивості ґрунтів і були враховані в роботі експериментального імпульсного електронного пристрою цієї системи, який



**Рис. 1. Схема МТА з автоматизованою системою ґрунторозпушування:**  
 1 – ультразвуковий датчик-випромінювач; 2 – рама пристрою; 3 – система кабелів живлення та передачі інформації, які з'єднують ультразвуковий датчик-випромінювач з блоком формування, прийому й обробки сигналів; 4 – блок формування, прийому та обробки сигналів; 5 – блок індикації та керування

працює на акустичних та ультразвукових частотах. Основним урахованим параметром є нездатність надуцільненого шару ґрунту пропускати звук і, як наслідок, провокування швидкого відбиття хвилі з відповідним зображенням на дисплеї пристрою.

Властивість середовища проводити акустичну енергію, в тому числі й ультразвуку, характеризується акустичним (хвильовим) опором. Хвильовий опір (імпеданс) залежить від щільності середовища та швидкості розповсюдження пружної хвилі. Акустичний опір середовища визначається поглинанням, заломленням і відбиттям ультразвукових хвиль.

Для розрахунку імпедансу ґрунтів можна скористатись такою формулою:

$$Z = \rho c, \quad (1)$$

де  $Z$  – хвильовий опір, кг/(м<sup>2</sup>с);  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – швидкість звуку, м/с. Або за іншою формулою:

$$Z = \sqrt{E\rho}, \quad (2)$$

де  $E$  – модуль пружності, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>.

Хоча пружність є загальною властивістю природних тіл, але ґрунти як дисперсні утворення можуть бути пружними лише за певних умов. Наприклад, у разі стиснення в піщаних ґрунтах пружні сили виникають, але при цьому піщинки розтягуються й відходять одна від одної, тобто в такому ґрунті рух звукової хвилі неможливий, тому що відсутня інерція піщинок, яка б передавалась від одного об'єму піску до іншого, тобто в такому середовищі хвиля затухає. У надуцільненому ж ґрунті спостерігається ефект опору твердих частинок деформаційним процесам, і чим щільніший ґрунт, тим цей опір є сильнішим, тим швидше відбивається хвиля.

Для розрахунку імпедансу ґрунтів можна скористатись такою формулою:

$$Z = \rho c, \quad (3)$$

де – хвильовий опір, кг/(м<sup>2</sup>с);  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – швидкість звуку, м/с. Або за іншою формулою:

$$Z = \sqrt{E\rho}, \quad (4)$$

де  $E$  – модуль пружності, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>.

У свою чергу, модуль пружності визначається із закону Гука як коефіцієнт співвідношення між напруженням навантаження  $\sigma$  на ґрунт і відповідною його деформацією  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma, \quad (5)$$

проте для ґрунту вимір пружності є достатньо складним. Складність прямих вимірів полягає у визначенні деформації ґрунту від навантаження, яке не викликає руйнування його структури.

Від модуля пружності залежить швидкість звуку в середовищі, яку можна визначати за формулою для пружного середовища: за модулем пружності  $E$  (модуль Юнга) та щільності (чим більша щільність середовища, тим менша швидкість звуку в середовищі):

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (6)$$

Швидкість звуку є також важливим параметром, який урахований у роботі цієї автоматизованої системи. З того, якою є швидкість проходження сигналу, роблять висновки про механічні, деформаційні та інші фізичні параметри ґрунтів.

Ґрунт є шаруватим напівпростором. У разі падіння звукової хвилі на межу розділу шарів ґрунту частина енергії буде відбиватися в першому шарі, а інша буде проходити в інший. Співвідношення між відбитою енергією та енергією, що проходить в інший шар, визначається хвильовим опором першого і другого шарів.

Якщо плоска хвиля  $p(t - z/c)$  падає на межу двох однорідних середовищ, тоді в першому середовищі виникає відбитий хвиля  $\bar{p}(t + z/c)$ , а в іншому – хвиля, що проходить  $p'(t - z/c')$ . Відбиту хвилю й ту, що пройшла, можемо записати так:

$$\bar{p} = \nu p(t + z/c), \quad (7)$$

$$p' = \mathcal{W} p(t - z/c'). \quad (8)$$

Для гармонічних хвиль падаюча, відбита і прохідна будуть мати вигляд:

$$p = e^{-ikz}, \quad (9)$$

$$\bar{p} = V \cdot e^{-ikz}, \quad (10)$$

$$p' = W e^{-ik'z} \quad (11)$$

З формул Френеля:

$$\mathcal{W} = \frac{2p'c'}{p'c' + pc}, \quad (12)$$

$$V = \frac{2p'c'}{p'c' + pc} \quad (13)$$

видно, що коефіцієнти відбиття  $V$  і проходження  $\mathcal{W}$  визначаються лише властивостями середовища й залежать не від форми хвилі, не від самих значень хвильових опорів, а від їх відношення:

$$\dot{Z} = \frac{p'c'}{pc}. \quad (14)$$

Таке відношення  $Z$  називається відносним хвильовим опором;  $\rho$  – щільність ( $\text{кг/м}^3$ ) та  $\rho'$  – швидкість звуку ( $\text{м/с}$ ) хвилі, що проходить в інший шар ґрунту;  $\rho'$  – щільність ( $\text{кг/м}^3$ ) та  $c'$  швидкість звуку ( $\text{м/с}$ ) відбитої хвилі.

Якщо хвильові опори рівні для обох шарів, тоді для нормального падіння плоскої хвилі прошарки ґрунту акустично не розрізняються: відбиття хвилі від першого шару не відбувається і хвиля йде в інший шар. Для такого повного проходження зовсім не обов'язково, щоб щільність цих пластів ґрунту і швидкість звуку в них були однакові, тобто не обов'язковий збіг механічних

властивостей, достатньо рівності співвідношення щільності на швидкість звуку.

Коефіцієнт пропускання енергії  $\tau_{\text{проп}}$  із одного шару ґрунту в інший визначається відношенням інтенсивності хвилі, що проходить у другий шар, до інтенсивності падаючої хвилі:

$$\tau_{\text{проп}} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1+Z_2)^2} \quad (15)$$

Інтенсивність проходження хвилі залежить від тривалості зонduючого імпульсу. Період слідування імпульсів визначається таким міркуванням: до отримання відбитого від ущільненого шару ґрунту сигналу повторне випромінювання не відбувається. Період зонduючого імпульсу знаходимо за такою формулою:

$$T \geq \frac{2H_{\text{max}}}{c}, \quad (16)$$

де  $T$  – період зонduючого імпульсу;  $H_{\text{max}}$  – максимальна глибина зондування;  $c$  – швидкість звуку.

Варто відмітити, що ущільнений шар ґрунту (плужна підшва) зазвичай залягає на глибині близько 25 см, тобто не є поверхневим шаром. Це відбувається внаслідок певних технологій обробки ґрунту. Тому більш акустично м'яким є зазвичай верхній шар, а отже, більший хвильовий опір має ущільнений шар ґрунту, тобто  $Z_1 < Z_2$ .

Плужна підшва являє собою збитий, без повітряних фаз і рідини пласт, є абсолютно жорстким середовищем.

В акустиці більш жорстким середовищем називають середовище, яке менше піддається стисканню. Поведінка таких середовищ близька до поведінки абсолютно жорсткого тіла, проте здатність стискатись ще не дає точної відповіді на те, як поведе себе середовище щодо падаючої хвилі: буде пропускати хвилю чи стане жорсткою перепорою. В акустиці доцільно порівнювати лише хвильовий опір середовищ, тобто відношення щільності до здатності стискатись. Жорсткішим буде той пласт, для якого це відношення більше. Такі обставини лише підкреслюють своєрідність хвильових задач з урахуванням механіки середовищ і тіл.

У разі повернення хвилі з другого шару в перший коефіцієнт відбиття залежатиме від хвильового опору першого.

Більшість ґрунтів, як відомо, мають щільність від 1000 до 1500  $\text{кг/м}^3$ . Швидкість розповсюдження звуку в ґрунтах змінюється від 85 до 180  $\text{м/с}$  [6, с. 50]. Це все показники для ґрунтів у природному стані. Ущільнений шар ґрунту, який

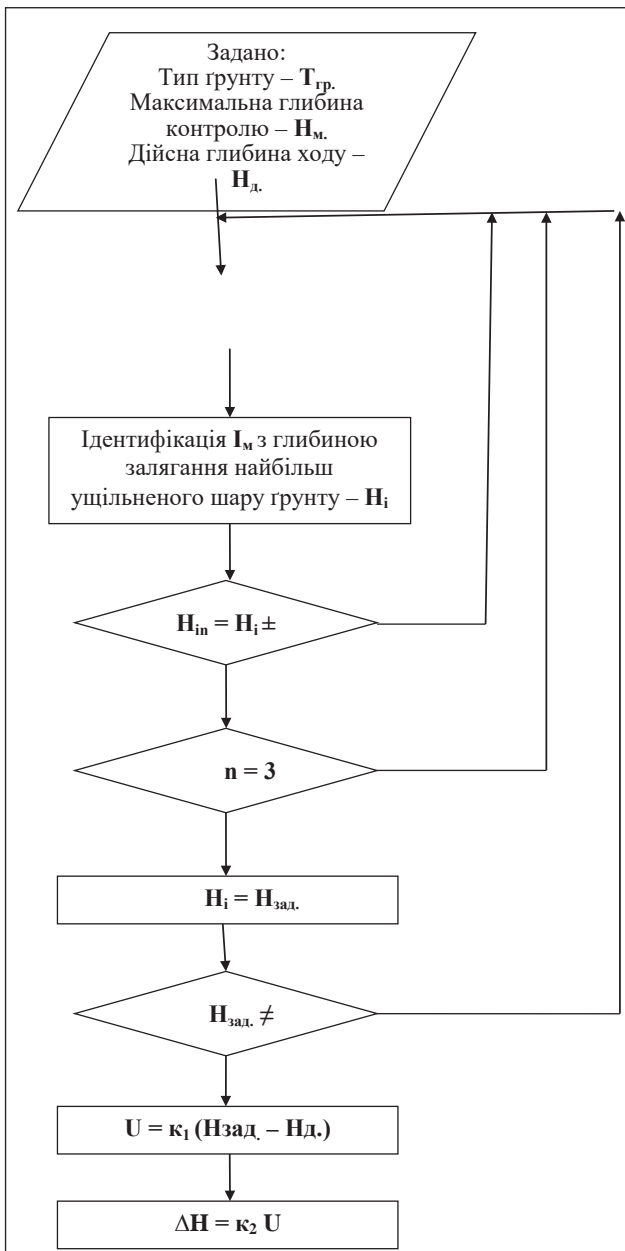


Рис. 2. Алгоритм формування керуючого сигналу на зміну глибини ходу робочого органу розущільнювача ґрунту

утворюється внаслідок господарської діяльності людини, має зовсім малу пористість і через практичну відсутність води й повітря чинить досить суттєвий хвильовий опір.

У літературі вже є розрахунки стосовно хвильового опору ґрунтів (таблиця 1) [6, с. 50]. Жирним шрифтом виділено значення, характерні для найбільш розповсюджених  $c$  і  $\rho$ .

Таблиця 1

**Хвильовий імпеданс (103, Па.с/м.) ґрунту при різних значеннях щільності і швидкості пружної хвилі [6, с. 50]**

c, м/с	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>					
	1000	1100	1200	1300	1400	1500
85	<b>85</b>	93,5	102	110,5	119	127,5
100	<b>100</b>	<b>110</b>	120	130	140	150
140	140	<b>154</b>	<b>168</b>	182	196	210
180	180	198	<b>216</b>	<b>234</b>	252	270
220	220	242	264	<b>286</b>	<b>308</b>	330
260	260	286	312	338	<b>364</b>	<b>390</b>
300	300	330	360	390	420	<b>450</b>

Як видно з таблиці, за будь-якої швидкості звуку при збільшенні щільності ґрунту зростає його хвильовий опір.

Хвильовий опір також впливає й на здатність звукової хвилі затухати в середовищі. Так, наприклад, у піщаних і супіщаних ґрунтах з часом звук затухає через утрату своєї енергії, яка перетворюється в інші види енергії, зокрема в теплову, тому що такі види ґрунтів практично не чинять хвильового опору і хвиля не може відбитись. Зовсім зворотна картина зі щільними й надущільненими ґрунтами. Саме ефект поглинання, розсіювання (дифракції) й відбиття хвилі є найважливішими параметрами в роботі експериментального ультразвукового пристрою цієї автоматизованої системи.

Поглинання виражається або в децибелах на метр (дБ/м), або в неперах на метр (Нп/м) і є результатом тертя між собою частинок середовища, в різних середовищах воно різне. Поглинання ультразвуку також залежить від частоти ультразвукових коливань. Теоретично воно пропорційне квадрату частоти.

Затухання хвилі, яке обумовлене розсіюванням і поглинанням, описується за експоненціальним законом спадання амплітуди з відстанню. На високих частотах, коли легко створити плоску хвилю, а поглинання звуку значне, коефіцієнт затухання для плоскої хвилі за амплітудою з відстанню описується так:

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left( \frac{p(0)}{p(L)} \right), \quad (17)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт затухання з відстанню, 1/м;  $L$  – відстань, м;  $p(0)$ ,  $p(L)$  – амплітуда звукового тиску у вихідній точці й на відстані  $L$ , Па.

Такий спосіб не застосовується для низьких частот. Для низьких частот підходить коефіцієнт затухання за часом:

$$\beta = \frac{1}{T} \ln \left( \frac{p(0)}{p(T)} \right), \quad (18)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт затухання від часу, 1/м;  $L$  – відстань, м;  $p(0)$ ,  $p(T)$  – амплітуда звукового тиску на початку й через час  $T$ , відповідно, Па.

Ґрунт особливо в польових, а не в лабораторних умовах – середовище з неоднорідною поверхнею: рослинний покрив, нерівності, також наявність повітряних ям. Усе це спричинює ефект дифракції – розсіювання звукових пучків при віддаленні від випромінювача, що може спричинити спотворення сигналів, і компенсацію таких спотворень можна здійснити за допомогою математичного алгоритму (рисунок 2).

**Висновки.** Від глибини обробки ґрунту залежить його родючість. Саме завдяки автоматизації процесів обробітку ґрунту будуть дотримані не лише всі технологічні процеси, а й буде відчутною економія паливних ресурсів. Здебільшого застосування ультразвуку в автоматичних процесах обробітку ґрунту поки що неможливе. Але завдяки механічним і фізичним властивостям ущільненого шару ґрунту, тобто через їх суттєвий хвильовий опір і невелику глибину залягання плужної підшви, ультразвукові методи цілком можливі для застосування саме в роботі автоматизованої системи розуцільнення ґрунту.

**Список літератури:**

1. Бриндли К. Измерительные преобразователи. Москва, 1991. С. 99–106.
2. Исакович М.А. Общая акустика. Москва, 1973. С. 386–392.
3. Мироненко В.Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 47–51.
4. Мироненко В.Г., Антипчук Б.О. Пристрій оперативного визначення глибини залягання плужної підшви в процесі її розуцільнення. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. Глевах: ННЦ «ІМЕГС», 2017. Вип. 5 (104). С. 28–34.

5. Нерпин С.В. Физика почвы. Москва, 1967. С. 18–22, 77–86.

6. Нецветов М.В. Скорость звука и модуль упругости почвы: измерение и роль в передаче вибраций дерева на почву. Грунтознание. Донецк: Донецк. ботан. сад, 2010. Т. 11. С. 48–52.

### **ЦЕЛЕСООБРАЗНО ЛИ ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА В РАБОТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ УПЛОТНЕННОГО СЛОЯ ПОЧВЫ?**

*В статье с учетом законов и основных положений акустики рассматривается вопрос эффективности практического применения ультразвукового метода в работе экспериментальной автоматизированной системы разуплотнения почвы в процессе ее обработки. Именно благодаря определенным свойствам вещества возможно прохождение в нем звуковой волны. Есть ли такие свойства у почв? Давая ответ на этот вопрос, проводим анализ влияния механической структуры уплотненной почвы на прохождение звуковой волны. Какие основные параметры прохождения ультразвука учтены в работе экспериментального радиофизического прибора данной автоматизированной системы? Как влияет волновое сопротивление уплотненной почвы на показатели работы прибора и системы в целом? На всех этих вопросах как особенно важных в работе данной автоматизированной системы сосредоточено особенное внимание.*

**Ключевые слова:** автоматизация производства, ультразвук, упругая волна, коэффициент отражения, скорость звука, модуль упругости, волновое сопротивление.

### **IS IT ADVISABLE TO USE AN ULTRASONIC METHOD IN WORK OF THE AUTOMATED SYSTEM OF DEFINITION OF THE DEPTH OF THE CONDENSED LAYER OF SOIL?**

*Considering laws and basic provisions of acoustics, in article the question of efficiency of practical application of an ultrasonic method in work to the experimental automated system on loosening of the soil in the course of its processing is considered. Thanks to certain properties of substance passing in it a sound wave is possible. Have whether soils such properties? For the answer to this question the analysis of influence of mechanical structure of the condensed soil on passing of a sound wave is carried out. How the mechanical structure of the dense soil influences on the sound waves? What key parameters of passing of ultrasound were considered in operation of the experimental radio physical device of this automated system? How the wave resistance of the condensed soil influences on results of work of the device and all system? On all these questions as especially important in work of this automated system, the special attention is concentrated.*

**Key words:** production automation, ultrasound, elastic wave, reflection coefficient, sound speed, elasticity module, wave resistance.

**Бабаков Р.М.**

Донецкий национальный университет имени Василя Стуса

**СИНТЕЗ МИКРОПРОГРАММНОГО АВТОМАТА С ОПЕРАЦИОННЫМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДОВ МЕТОДОМ ПОЛНОГО ПЕРЕБОРА**

*В статье проводится исследование подхода к синтезу микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов методом полного перебора. Рассматривается пример формального решения задачи алгебраического синтеза данного класса автоматов. Дается оценка временных затрат на синтез методом полного перебора для автоматов различной сложности. Исследуется влияние разрядности кодов состояний на количество формальных решений задачи алгебраического синтеза. Предлагается метод искусственного увеличения разрядности кодов состояний в микропрограммном автомате с операционным автоматом переходов.*

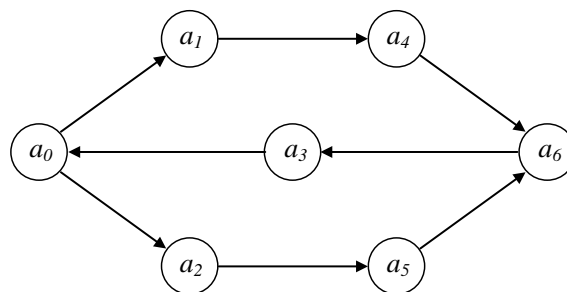
**Ключевые слова:** микропрограммный автомат, операционный автомат переходов, алгебраический синтез, кодирование состояний, полный перебор.

**Постановка проблемы.** В современных вычислительных системах одним из центральных блоков является устройство управления (далее – УУ), координирующее работу всех блоков системы [1, с. 426; 2, с. 114]. Наблюдаемый сегодня рост сложности алгоритмов работы УУ приводит к увеличению аппаратных затрат в его логической схеме, что обуславливает увеличение стоимости УУ и вычислительной системы в целом. Это способствует актуализации научной проблемы минимизации аппаратных затрат в логической схеме устройств управления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одним из способов реализации УУ является микропрограммный автомат (далее – МПА), схема которого по сравнению с другими типами УУ по сравнению с другими классами УУ характеризуется максимально возможными быстродействием и аппаратными затратами [2, с. 168]. Сегодня известно множество структурных реализаций МПА и методов их синтеза, использующих в своей основе различные подходы к оптимизации тех или иных параметров МПА [3, с. 11; 4, с. 6]. Одной из таких структур является микропрограммный автомат с операционным автоматом переходов (МПА с ОАП), использующий представление функции переходов автомата в виде множества частичных функций [5, с. 23; 6, с. 22]. При этом вопросы синтеза данной структуры в значительной степени остаются неисследованными.

**Постановка задачи.** В работе [7, с. 37] определено понятие алгебраического синтеза МПА с ОАП, суть которого заключается в следующем.

Пусть автомат задан графом  $\Gamma_1$ , в котором вершины соответствуют состояниям автомата, дуги – автоматным переходам вида  $\langle a_i, a_j \rangle$  (рис. 1).

Рис. 1. Граф автомата  $\Gamma_1$ 

Для кодирования  $M=7$  состояний  $\{a_0, \dots, a_6\}$  достаточно  $R=3$  двоичных разряда. Соответственно, множество трехразрядных двоичных кодов, которые могут быть использованы для кодирования состояний, включает  $2^R=8$  элементов:  $K_2=\{000, \dots, 111\}$ . При интерпретации элементов множества  $K_2$  как целых чисел без знака получаем множество промежуточных (десятичных) кодов состояний  $K_{10}=\{0, \dots, 7\}$  [8, с. 71]. Таким образом, каждому двоичному коду состояния  $K_2(a_i)$  сопоставляется уникальный десятичный код  $K_{10}(a_i)$ .

Пусть множество операций переходов (ОП)  $O=\{O_1, O_2\}$ , где

$$O_1 : K_{10}(a^{t+1}) = K_{10}(a^t) + 3_{10}; \quad (1)$$

$$O_2 : K_2(a^{t+1}) = K_2(a^t) \oplus 100_2. \quad (2)$$

Здесь  $a^t$  – текущее состояние автомата,  $a^{t+1}$  – состояние перехода,  $\oplus$  – логическая операция суммы по модулю 2. Операция  $O_1$  выполняется над десятичными кодами состояний, операция  $O_2$  – над их двоичными представлениями. Отметим, что операция  $O_1$  в действительности выполняется над двоичными кодами состояний, ограничивая результат тремя двоичными разрядами.

Согласно Р.М. Бабакову [7, с. 37], формальное решение задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП состоит в реализации всех автоматных переходов или их части с помощью операций из множества  $O$ . Для автомата, заданного графом  $\Gamma_1$ , одно из возможных формальных решений приведено на рис. 2.

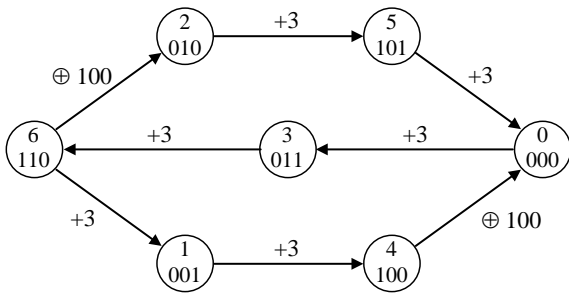


Рис. 2. Формальное решение задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП, заданного графом  $\Gamma_1$

Здесь в каждой вершине графа указаны десятичный и эквивалентный ему двоичный коды из множеств  $K_{10}$  и  $K_2$ , присвоенные соответствующему состоянию автомата. Каждому ребру графа соответствует одна из ОП из множества  $O$ : операция  $O_1$  обозначена как «+3», операция  $O_2$  – « $\oplus 100$ ». Очевидно, что при выбранном кодировании состояний все переходы автомата реализуются с помощью операций из множества  $O$ .

Показанное на рис. 2 формальное решение задачи алгебраического синтеза, скорее всего, не является в данном случае единственно возможным. Также неизвестно, является ли оно эффективным, то есть приводящим к экономии аппаратных затрат в логической схеме МПА с ОАП по сравнению с другими известными структурами МПА [7, с. 37]. Формирование множества эффективных решений возможно при наличии множества формальных решений. Соответственно, формирование полного множества эффективных решений, позволяющего получить

оптимальное решение задачи алгебраического синтеза, возможно только после формирования полного множества формальных решений [7, с. 38]. В настоящей работе исследуется возможность формирования множества формальных решений задачи алгебраического синтеза путем полного перебора вариантов.

**Изложение основного материала исследования.** Пусть для МПА с ОАП определены:

- множество состояний  $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ ;
- разрядность двоичного кода состояния  $R$ ;
- множество операций переходов  $O = \{O_1, \dots, O_I\}$ ;
- множество переходов  $\langle a_i, a_j \rangle$  мощностью  $B$ .

Величина  $R$  определяет мощности множеств  $K_2$  и  $K_{10}$ , равные  $2^R$ . Конечность данных множеств позволяет определить количество вариантов уникального сопоставления элементов множества  $K_2$  состояниям автомата:

$$N_1 = A_{2^R}^M = \frac{(2^R)!}{(2^R - M)!}. \quad (3)$$

Определим количество способов сопоставления  $I$  операций переходов  $B$  переходам автомата:

$$N_2 = (I + 1)^B. \quad (4)$$

Здесь предполагается, что одна и та же операция может быть сопоставлена нескольким переходам. Прибавляемая к  $I$  единица учитывает возможность того, что любому переходу автомата может быть не сопоставлена никакая ОП, в результате чего данный переход реализуется каноническим способом [9, с. 81].

Тогда количество вариантов взаимонезависимого сопоставления кодов состояний и операций переходов будет равно:

$$N = N_1 \cdot N_2 = \frac{(2^R)!}{(2^R - M)!} \cdot (I + 1)^B. \quad (5)$$

После того, как выбран один из вариантов сопоставления, необходимо проверить, является ли он «бесполезным» или формальным решением задачи алгебраического синтеза. Обозначим через  $t_c$  время, затрачиваемое на выбор очередного варианта сопоставления и проверку на получение формального решения. Тогда время  $t$ , необходимое для получения множества формальных решений методом полного перебора, определяется выражением (6).

$$t = N \cdot t_c = \frac{(2^R)!}{(2^R - M)!} \cdot (I + 1)^B \cdot t_c. \quad (6)$$

Пусть  $t_c = 0,001$  секунды. Тогда время, затрачиваемое на полный перебор вариантов в случае автоматов средней сложности ( $M=50, R=6, B=100$  [2, с. 215]) и  $(I+1)=10$ , составляет  $1,45 \cdot 10^{175}$ с, что, очевидно, является неприемлемым.

В случае, например,  $R=4$ ,  $M=10$ ,  $(I+1)=3$ ,  $V=10$  и  $t_c=0,001$  с, величина  $t=1017$ с. При уменьшении значения  $t_c$  до 1 нс величина  $t$  становится равной 1011с, что составляет около 3200 лет и также является неприемлемым.

Выражения (4)–(6) справедливы также и для структуры МПА, в которой операции переходов сопоставляются отдельным переходам автомата. В работе Р.М. Бабаков, И.В. Ярош [10, с. 14] предложена структура МПА с ОАП, в которой операции переходов сопоставляются отдельным состояниям автомата. Для такой структуры выражения (4)–(6) примут вид (7)–(9) соответственно.

$$N_2 = (I + 1)^M. \quad (7)$$

$$N = N_1 \cdot N_2 = \frac{(2^R)!}{(2^R - M)!} \cdot (I + 1)^M \quad (8)$$

$$t = N \cdot t_c = \frac{(2^R)!}{(2^R - M)!} \cdot (I + 1)^M \cdot t_c \quad (9)$$

В случае автомата средней сложности ( $M=50$ ,  $R=6$ ),  $(I+1)=10$  и  $t_c=0,001$  с время, затрачиваемое на полный перебор вариантов, составит около  $1,45 \cdot 10^{125}$ с, что также не позволяет решить задачу методом полного перебора. При  $R=4$ ,  $M=10$ ,  $(I+1)=3$  и  $t_c=0,001$  с получаем  $t=1,7 \cdot 10^{12}$ с. При уменьшении значения  $t_c$  до 1 нс величина  $t$  составит около  $1,7 \cdot 10^6$ с или около 20 суток. Такое значение, с одной стороны, требует для достижения величины  $t_c=1$  нс значительных вычислительных ресурсов и эффективной алгоритмической реализации, а с другой стороны, является нерациональным для синтеза автоматов столь малой сложности.

Отметим следующее. Если синтезируемый автомат содержит  $M$  состояний, минимально достаточная разрядность структурного кода состояния  $R_{\min} = \lceil \log_2 M \rceil$ . В МПА с канонической структурой [2, с. 89] использование для кодирования состояний структурных кодов разрядности  $R > R_{\min}$  не имеет смысла, поскольку приводит лишь к увеличению аппаратных затрат в схеме автомата.

В случае МПА с ОАП увеличение значения  $R$  оказывает значительное влияние на величину  $N_1$ , определяемую выражением (3). Так, для автоматов средней сложности ( $M=50$ ,  $R=6$ ) увеличение  $R$  на единицу увеличивает  $N_1$ , в  $2,3 \cdot 10^{22}$  раз. Во столько же раз возрастает число вариантов полного перебора, определяемое выражениями (5) и (8).

В то же время увеличение количества вариантов полного перебора может приводить к увеличению количества формальных решений задачи алгебраического синтеза МПА с ОАП, следовательно, к увеличению количества эффективных

и оптимальных решений. Если для заданного автомата при  $R = R_{\min}$  не было найдено ни одного эффективного решения, не исключено, что такое решение может быть найдено при большем значении  $R$ .

Рассмотрим пример. Пусть автомат задан графом  $\Gamma_2$ , состоящим из четырех последовательных вершин, соответствующих состояниям автомата  $a_0$ – $a_3$  (рис. 3).

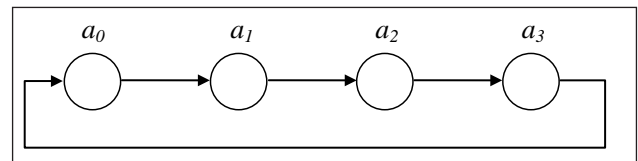


Рис. 3. Граф автомата  $\Gamma_2$

Использование четырех состояний определяет значение  $R_{\min}=2$ . Следовательно, для кодирования состояний может быть использовано множество двухразрядных двоичных кодов  $K_2=\{00_2, 01_2, 10_2, 11_2\}$ , целочисленная интерпретация которых представлена множеством  $K_{10}=\{0_{10}, 1_{10}, 2_{10}, 3_{10}\}$ .

Пусть ограничением алгебраического синтеза является использование единственной операции переходов, определяемой выражением (10) и предполагающей интерпретацию двоичных кодов состояний как целых чисел без знака.

$$O_3: K_{10}(a^{t+1}) = K_{10}(a^t) + 2. \quad (10)$$

Чтобы  $OP \cdot O_3$  могла реализовывать четыре последовательных перехода, она должна позволять задавать на множестве допустимых кодов хотя бы одно транзитивное замыкание, состоящее из четырех компонент. На множестве  $K_{10}$  операция  $O_3$  позволяет задать лишь двухкомпонентные транзитивные замыкания:  $\langle 0,2 \rangle$ ,  $\langle 1,3 \rangle$ ,  $\langle 2,0 \rangle$ ,  $\langle 3,1 \rangle$ . При этом задать четырехкомпонентное замыкание оказывается невозможным. Таким образом, при любом способе кодирования состояний двухразрядными двоичными кодами невозможно реализовать все переходы в графе  $\Gamma_2$  с помощью  $OP \cdot O_3$ .

Увеличим принудительно величину  $R$  до значения  $R_{\min} + 1 = 3$ . В результате получим возможность кодирования состояний трехразрядными двоичными кодами из множества  $K_3=\{000, \dots, 111\}$ , которые соответствуют целочисленному диапазону  $[0; 7]$ . В данном диапазоне операция  $O_3$  позволяет задать восемь четырехкомпонентных транзитивных замыканий (предполагается, что результат операции  $O_3$  всегда берется по модулю 8 и лежит в диапазоне  $[0; 7]$ ):

$$\langle 0, 2, 4, 6 \rangle, \langle 2, 4, 6, 0 \rangle, \langle 4, 6, 0, 2 \rangle, \langle 6, 0, 2, 4 \rangle, \\ \langle 1, 3, 5, 7 \rangle, \langle 3, 5, 7, 1 \rangle, \langle 5, 7, 1, 3 \rangle, \langle 7, 1, 3, 5 \rangle.$$



При использовании любого из данных кортежей для задания кодов состояний автомата, заданного графом  $\Gamma_2$ , все переходы могут быть реализованы только с помощью ОП- $O_3$ . На рис. 4 показан пример реализации всех переходов в графе  $\Gamma_2$  с помощью операции  $O_3$  (отметка вершин и ребер выполнена по аналогии с рис. 2).

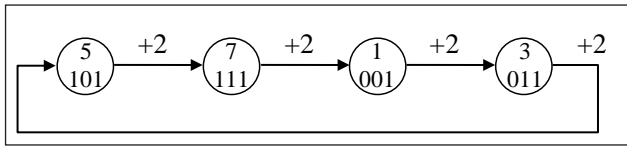


Рис. 4. Пример реализации переходов автомата при увеличенной разрядности кодов состояний

Рассмотренный пример показывает, что увеличение разрядности двоичных кодов состояний увеличивает область определения и область значений используемых ОП. В отношении отдельно взятой ОП это дает потенциальную возможность использовать ее для реализации большего числа автоматных переходов. В отношении всего множества ОП увеличение разрядности двоичных кодов состояний позволяет увеличить количество переходов, реализуемых посредством имеющихся ОП, уменьшив тем самым количество переходов, реализуемых каноническим способом.

Безусловно, увеличение  $R$  приводит к увеличению аппаратных затрат во всех структурных

блоках МПА с ОАП. Однако достигаемое при этом уменьшение количества переходов, реализуемых каноническим способом, может давать компенсирующий эффект, выражающийся в снижении аппаратных затрат в комбинационной схеме, реализующей подмножество переходов автомата каноническим способом. Поскольку идея операционного преобразования кодов состояний состоит в уходе от канонической реализации автоматных переходов, искусственное увеличение величины  $R$  может способствовать уменьшению аппаратных затрат в логической схеме МПА с ОАП и использоваться в различных методах алгебраического синтеза данного класса автоматов.

**Выводы.** Как показали проведенные исследования, решение задачи алгебраического синтеза микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов методом полного перебора требует значительных временных затрат, которые даже для автоматов средней сложности можно считать неприемлемыми. Данный факт актуализирует научную задачу разработки методов синтеза МПА с ОАП, использующих частичный перебор вариантов. В то же время увеличение числа вариантов перебора может приводить к увеличению количества формальных решений задачи алгебраического синтеза, что в итоге может повысить эффективность логической схемы автомата по критерию аппаратных затрат.

#### Список литературы:

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. Москва: Физматгиз, 1962. 476 с.
2. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов. Ленинград: Энергия, 1979. 232 с.
3. Баркалов А.А., Палагин В.А. Синтез микропрограммных устройств управления. Киев: Институт кибернетики НАН Украины, 1997. 135 с.
4. Баркалов А.А. Синтез устройств управления на программируемых логических устройствах. Донецк, ДонНТУ, 2002. 262 с.
5. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Операционное формирование кодов состояний в микропрограммных автоматах. Кибернетика и системный анализ. 2011. № 2. С. 21–26.
6. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Алгебраическая интерпретация микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Кибернетика и системный анализ. 2016. № 2. С. 22–29.
7. Бабаков Р.М. Алгебраический синтез микропрограммного автомата с операционным автоматом переходов. Информационные технологии и компьютерная инженерия. 2017. № 39. Т. 2. С. 35–41.
8. Бабаков Р.М. Промежуточная алгебра переходов в микропрограммном автомате. Радиотехника, информатика, управление. 2016. № 1. С. 64–73.
9. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Операционный автомат переходов с дополненным множеством операций переходов. Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Выпуск 14 (188). Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 80–84.
10. Бабаков Р.М., Ярош И.В. Формирование кодов операций переходов в микропрограммном автомате с операционным автоматом переходов. Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». Выпуск 1 (20). Красноармейск, ДонНТУ, 2015. С. 11–16.

### **СИНТЕЗ МІКРОПРОГРАМНОГО АВТОМАТА З ОПЕРАЦІЙНИМ АВТОМАТОМ ПЕРЕХОДІВ МЕТОДОМ ПОВНОГО ПЕРЕБОРУ**

*У статті проводиться дослідження підходу до синтезу мікропрограмного автомата з операційним автоматом переходів методом повного перебору. Розглядається приклад формального розв'язку задачі алгебраїчного синтезу цього класу автоматів. Дається оцінка витрат часу на синтез методом повного перебору для автоматів різної складності. Досліджується вплив розрядності кодів станів на кількість формальних розв'язків задачі алгебраїчного синтезу. Пропонується метод штучного збільшення розрядності кодів станів у мікропрограмному автоматі з операційним автоматом переходів.*

**Ключові слова:** мікропрограмний автомат, операційний автомат переходів, алгебраїчний синтез, кодування станів, повний перебір.

### **SYNTHESIS OF THE MICROPROGRAM FINITE STATE MACHINE WITH DATAPATH OF TRANSITIONS WITH THE METHOD OF EXHAUSTIVE SEARCH**

*The article studies the approach to the synthesis of a microprogram finite state machine with datapath of transitions by the method of exhaustive search. An example of a formal solution of the problem of algebraic synthesis of a given class of finite state machine is considered. An estimate of the time spent on synthesis by the method of exhaustive search for finite state machines of various complexity is given. The influence of the state codes on the number of formal solutions of the algebraic synthesis problem is investigated. A method of artificially increasing the bit depth of state codes in a microprogram finite state machine with datapath of transitions is proposed.*

**Key words:** microprogram finite state machine, datapath of transitions, algebraic synthesis, coding of states, exhaustive search.

УДК 004.432.4

**Baklan I.V.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

**Vasilenko V.G.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

**Shyrii V.V.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## SYSTEM ANALYSIS OF ABSTRACT DATA TYPES IN PROBABILISTIC PROGRAMMING LANGUAGES

*Today, there are quite a few different probabilistic programming languages that to some extent use the concepts of probability theory for their calculations. But we wanted to know what data types exist for solving probabilistic tasks. In the present paper we present a system analysis of abstract data types in selected languages of probabilistic programming. We revealed several moments. The first is that all the languages we choose use the data types of their „parent” programming languages. The second is that for the use of distributions and random variables, the built-in functions or methods in each of the languages are used. And writing your own can cause some difficulties. We tried to depict the main areas of use of modern probabilistic abstract data types in probabilistic programming languages.*

**Key words:** Probabilistic programming, Abstract data types, Probabilistic programming languages, Programming languages.

**Introduction.** Today there are widespread applications of the probability models used for creation of the modern artificial intelligence in application-oriented statistics or in cognitive science. This results from the fact that they are connected to operation over probabilities and their probable outputs. However, probabilistic models tend to increase their complexity. Therefore, it is necessary to create new tools to provide a new integrated approach to the probabilistic representation of models. Therefore it is necessary to create new tools for support of a new integrated approach to probable representation of models. And probable a programming language it is provided. Languages allow you to create tools for describing complex probability distributions and implement an effective probabilistic output for an arbitrary computer program.

Probabilistic programming languages, in their simple form, extend the well-known deterministic programming language with primitive constructions for random choice [17]. However, over time, there was a creation of new tools for probabilistic inference and the emergence of new complex probabilistic simulation programs. The presence of a large number of probabilistic programming languages led to the idea

that there is a certain programming paradigm, the so-called probabilistic programming.

**Analysis of recent research and publications.** Basic principles language design and probabilistic programming were given in [8]. Also in this article describes the differences between Probabilistic Programming and Probabilistic Model Checking.

About each of probabilistic programming languages there are relevant article or the corresponding page on the Internet from their authors. Therefore we will list those languages about which we will speak. Namely: Church (MIT BCS/CSAIL) [5; 13], Anglican (MIT, Oxford University and DARPA PPAML) [2–4; 15], Venture (MIT BCS/CSAIL) [9; 11; 18], Infer.Net (Microsoft Research) [12], TensorFlow [6; 13] (Google) with libraries TensorFlow Distributions (Google, Columbia University) [1] and Edward (Columbia University) [7; 8; 16].

**The objectives of the research.** In each of the languages of probabilistic programming with the help of abstract types, the basic concepts of probability theory are realized: probability space set, random variable, probability, probability distribution. These concepts, in our opinion, must necessarily be implemented in languages of probabilistic programming.

In this article, we will analyze the implementation of the basic concepts of probability theory with abstract data types in probabilistic programming languages. Namely: Church, Anglican, Venture, Infer. Net, TensorFlow with libraries TensorFlow Distributions and Edward.

**Church (MIT BCS/CSAIL).** Let's start our analysis with the Church. Church – a universal language for describing stochastic generative processes. Church is based on the Lisp model of lambda calculus, containing a pure Lisp as its deterministic subset.

We will provide the partial description of language with [5]: “Church language is based upon a pure subset of functional language Scheme, a Lisp dialect”. What we can understand from the reading: Church uses the same abstract types as Scheme. Feature of Church is the fact that expressions are values and these expressions describe generative processes.

In Church there is one interesting feature – all computation returns to Church in the form of random variable [12]. Or it is possible to tell and so: Church values include Church expressions, and procedures; if  $v_1 \dots v_n$  are Church values the list  $(v_1 \dots v_n)$  is a Church value. For example, in a situation where one random variable is given, probability distribution is often called a random variable.

To specify sets, you can use built-in commands, such as list, vector and map. Using the built-in

Scheme types to represent probabilities, Church uses the type number. And it can be like integer or, if it is necessary to calculate probability, rational.

For calculation of probability a distribution function is used. It returns value from evaluating the body given env and values of formal parameters.

**Anglican (MIT, Oxford University and DARPA PPAML).** Because Anglican is like the Clojure programming language, it uses the same data types. Here are just Clojure data types are Java data types, which also means that all values in Clojure are regular Java reference objects.

For representation of sets, Anglican, as well as Church, uses the list, vector or hashmap types. Sample method returns a random sample and roughly corresponds to the default implementation of the sample checkpoint.

For storage and work with probability, Anglican uses library `java.lang.BigDecimal` – decimal values or other classes, because Java primitives are usually boxed in Clojure functions. The observe method returns the log probability of the value, which roughly corresponds to the default implementation of the observe checkpoint.

To determine the distribution used macro `defdist`. It takes care of defining a separate type for every distribution so that Clojure multimethods (or overloaded

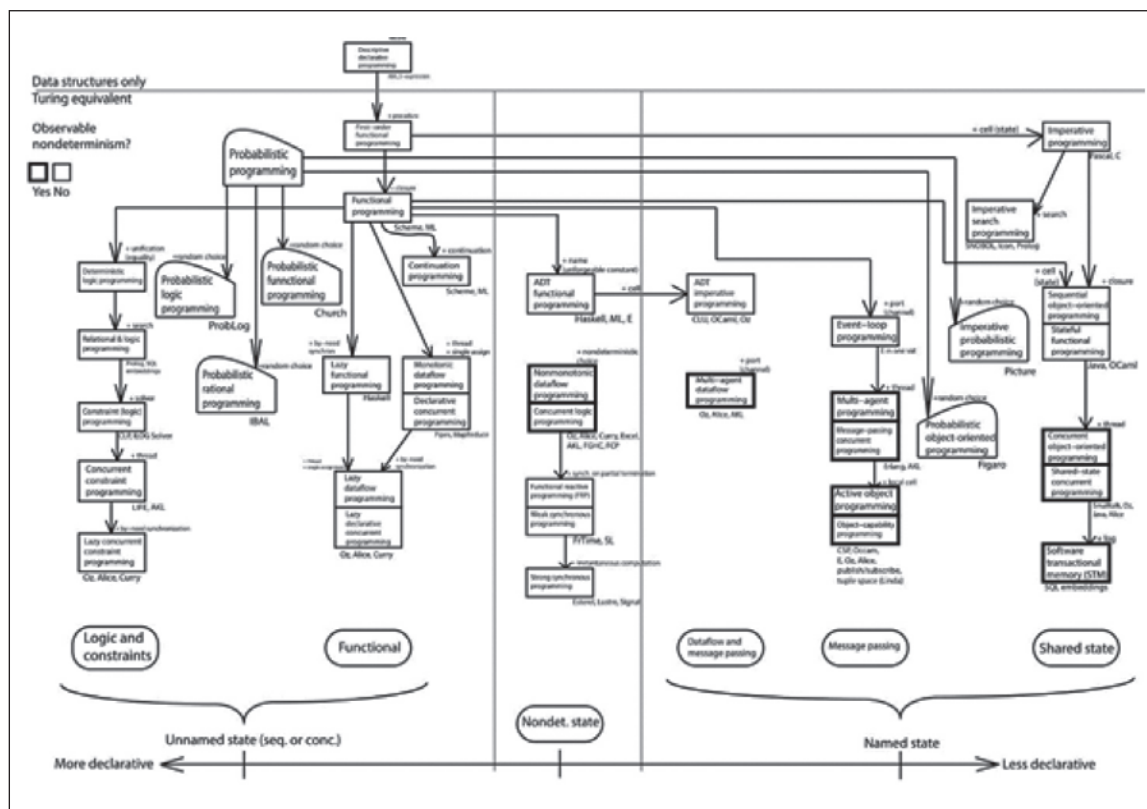


Fig. 1. Classification of programming paradigms [17]

methods) can be dispatched on distribution types when needed.

In addition to distributions, Anglican provides random processes, which define sequences of random variables that are not independent and identically distributed. Random processes are defined using the `defproc` macro and implement the `anglican.runtime/random-process` protocol. This protocol has two methods:

- `produce`, which returns the distribution on the next random variable in the sequence;
- `absorb`, which incorporates the value for the next random variable and returns an updated random process.

**Venture (MIT BCS/CSAIL).** Venture is essentially a Lisp-like higher-order language augmented with two novel abstractions:

- Probabilistic execution traces (PETs or abbreviated as “traces”) are a first-class object that represents the sequence of random choices that a probabilistic program makes. Each program subcomputation that yields a result corresponds to a random variable. PETs serve as the only native form of mutable storage in Venture, and map dynamic “addresses” assigned over the course of program execution to the manifest values taken by the program at those addresses;

- Stochastic procedures (SPs). SPs are used to encapsulate simple probability distributions, as well as user-space VentureScript programs and foreign probabilistic objects. An SP consists of a linked collection of programs and meta-programs that collectively describe aspects of a probabilistic program that are important for its use in modeling and inference. SPs are designed to allow simple probability distributions, user-space VentureScript, and foreign probabilistic programs to be treated uniformly as building blocks of complex probabilistic computations ;

The authors state that Venture uses the usual scalar and symbolic data types from the programming language Scheme. Also in Venture there is support for collections and additional datatypes corresponding to a primitive object from the probability theory and statistics. There is support for the stochastic procedure datatype for using compound procedures returned by `lambda`.

Here is a list of the most important values:

- Atoms – discrete items with no internal structure or ordering;
- Numbers – data types like as integer, rational, real, and complex;
- Collections – vectors, which map numbers to values and support  $O(1)$  random access, and maps (map values to values) with support  $O(1)$  amortized random access;

- Stochastics procedures – standard library components and can also be created by `Lambda` and others stochastic procedures.

**Infer.NET (Microsoft Research).** Infer.NET framework for running Bayesian inference in graphical models. Infer.NET provides the state-of-the-art message-passing algorithms and statistical routines needed to perform inference for a wide variety of applications.

In Infer.NET it is possible to create three types of variables: random (values are unknown and whose posterior distributions can be calculated during inference), constant (fixed values), observed (values not specified when the model is constructed, but are given before performing inference).

Infer.NET is used to create variables other than simple data types, such as `bool`, `double`, `int`, `enum`, `string`, `char`. `Vector` and `PositiveDefiniteMatrix` are used as vector and matrix types for creation of probabilistic sets. In addition, all of them and also `TDomain []`, `ISparseList <>`, `IList <>` can be used for discrete, continuous, multivariate and sequence distributions.

For greater convenience and possible simplicity, the developers provided methods for creating random variables with various distribution factors. It can pass in random variables as arguments e.g. `Variable <bool>` instead of `int`. In [11] you can see examples of such usage, as well as with the description and syntax on Infer.NET. Built-in functionality allows you to use different types of data parameters. For example, with discrete distribution.

**TensorFlow (Google), library TensorFlow Distributions (Google, Columbia University) and Edward (Columbia University).** TensorFlow is based on use of so-called tensors. We will give small definition about tensors. Tensors are simply mathematical objects that can be used to describe physical properties, just like scalars and vectors. In fact tensors are merely a generalization of scalars and vectors; a scalar is a zero rank tensor, and a vector is a first rank tensor [18].

The rank (or order) of a tensor is defined by the number of directions (and hence the dimensionality of the array) required to describe it. For example, properties that require one direction (first rank) can be fully described by a  $3 \times 1$  column vector, and properties that require two directions (second rank tensors), can be described by 9 numbers, as a  $3 \times 3$  matrix. As such, in general an  $n$ th rank tensor can be described by  $3^n$  coefficients.

Tensors are used to represent the data structure in programs written in TensorFlow. Using tensors,

TensorFlow represents the probability space is an N-dimensional array or list. The tensor has a static type and a dynamic dimension.

TensorFlow provides several possibilities for creating so-called random tensors with different distributions. In this case, after each call and calculation, new random values are created.

Tensors can be of such data types: bool, half, float, float64, uint8, int8, int16, int32, int64, complex64, complex128, string. But you can also use standard data types with Python. For example, as bool, str, list or tuple.

More recently, for TensorFlow, another library of adaptation of the vision of probability theory to the modern deep-learning paradigm of end-to-end differentiable computation. It is called TensorFlow Distributions [1]. It is constructed on such two abstractions: Distributions and Bijectors. The first provides a collection of approximately 60 distributions with fast, numerically stable methods for sampling, log density, and many statistics. The second one allows composable volumetracking transformations with automatic caching. Together these enable modular construction of high dimensional distributions and transformations not possible with previous libraries.

Also, this year was presented Edward [15] – deep probabilistic programming library, which expands deep-learning research by enabling new forms of experimentation, faster iteration cycles, and improved reproducibility. Edward provides a language of random variables to construct a broad class of models: directed graphical models, stochastic neural networks, and programs with stochastic control flow. In Edward, random variable is an object parameterized by tensors. For Edward, the TensorFlow Distributions library has a backend.

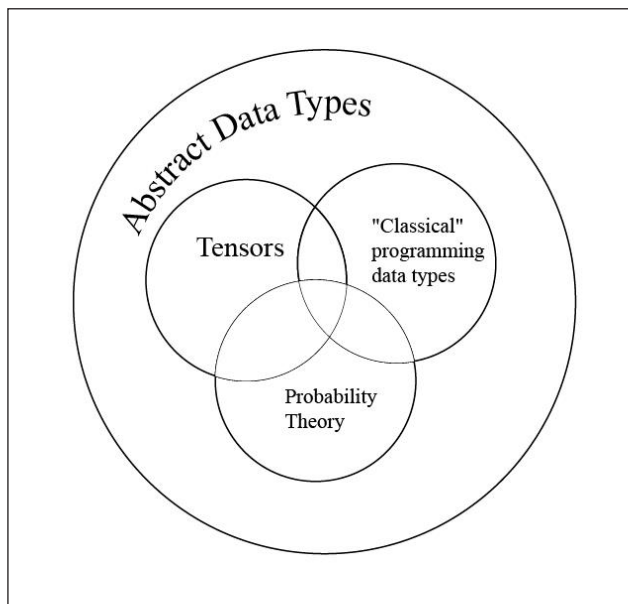


Fig 2. The fields of use of the modern abstract data types in probabilistic programming languages

**Discussion and Conclusion.** We will write short outputs about each of the probable languages selected by us. The Church language is quite simple in understanding because any computation by means of embedded functions allows to receive random variable. And language uses abstract data types from functional language Scheme.

Anglican uses data types from the language of Clojure, which in turn, takes them with Java. And as it seems to us, it is a direct continuation of the ideas that were laid in the Church, but with the use of modern frameworks.

Venture is another representative of Lisp's-like language. But adds two novel abstractions: probabilistic execution traces and stochastic procedures. The first are necessary for sequence of random choices, whereas the second – to allow simple probability distributions. The data types of the Scheme language are used.

By means of Infer.NET it is possible to create various variables, including random. At the same time using discrete, continuous, multivariate or sequence distributions. Also Infer.NET can be used in other .NET languages, for example, in C++/CLI, F#, IronPython and others.

Tensors are the main mathematical objects for the TensorFlow language. They allow to create multidimensional structures of random variables with different distributions given for calculation. For a task of sets are used as the types which are built in language, that and with Python. This year two libraries which I expand functionality of language have been presented. In TensorFlow Distributions, two abstractions are added, which together enable modular construction of high dimensional distributions and transformations. The second library – Edward – allows develop difficult probabilistic models and their algorithms.

We will select several highlights. The first is that all the languages we choose use the data types of their “parent” programming languages. The second is that for the use of distributions and random variables, the built-in functions or methods in each of the languages are used. And the list of these distributions can be different. Depending on various factors (development experience, knowledge in the field of probability theory, etc.), the development of own probabilistic concepts can cause confusion.

In Fig. 2, we tried to depict the main areas of use of modern probabilistic abstract data types in probabilistic programming languages. Modern probabilistic programming languages are used as data types of “parent” languages, and new ones are introduced to describe and interact with probability theory. In future works, we will try to move away from the abstract data types of the main programming paradigms (imperative, declarative), thereby suggesting the use of probabilistic types.

**References:**

1. Alemi A., Dillon J.V., Langmore I. Tensorflow Distributions. 2017.
2. Anglican Homepage. URL: <https://probprog.github.io/anglican/index.html> (дата звернення 28.11.2017).
3. Anglican Language syntax, URL: <https://probprog.github.io/anglican/index.html> (дата звернення 28.11.2017).
4. Anglican Inference methods, URL: <https://probprog.github.io/anglican/inference/index.html> (дата звернення 28.11.2017).
5. Computation in Church, URL: [http://projects.csail.mit.edu/church/wiki/Computation\\_in\\_Church](http://projects.csail.mit.edu/church/wiki/Computation_in_Church) (дата звернення 25.11.2017).
6. Constants, Sequences, and Random Values page, URL: [https://www.tensorflow.org/api\\_guides/python/constant\\_op](https://www.tensorflow.org/api_guides/python/constant_op) (дата звернення 28.11.2017).
7. Edward Homepage, URL: <http://edwardlib.org/> (дата звернення 27.11.2017).
8. Developing Custom Random Variables URL: <http://edwardlib.org/api/model-development> (дата звернення 27.11.2017).
9. Gordon A.D., Henzinger T.A., Nori A.V., Rajamani S.K. (2014, May). Probabilistic programming. Proceedings of the on Future of Software Engineering. 2014. P. 167–181.
10. Lu A. Venture: an extensible platform for probabilistic meta-programming: дис. ... канд. техн. наук.
11. Mansinghka V., Selsam D., Perov Y. Venture: a higher-order probabilistic programming platform with programmable inference.
12. Infer.NET 2.6. URL: <http://research.microsoft.com/infernet> (дата звернення 14.11.2017).
13. Probability Theory and The Meaning of Probabilistic Programs. URL: [http://projects.csail.mit.edu/church/wiki/Probability\\_Theory\\_and\\_The\\_Meaning\\_of\\_Probabilistic\\_Programs](http://projects.csail.mit.edu/church/wiki/Probability_Theory_and_The_Meaning_of_Probabilistic_Programs) (дата звернення 14.11.2017).
14. TensorFlow Homepage. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення 27.11.2017).
15. Tolpin D., van de Meent J.W., Yang H. Design and Implementation of Probabilistic Programming Language Anglican. 2014.
16. Tran, D., Kucukelbir, A., Dieng, A. B., Rudolph, M., Liang, D. & Blei, D. M.: Edward: A library for probabilistic modeling, inference, and criticism.
17. Vasilenko V., Shyrii V., Baklan I. Modern programming paradigm – probabilistic programming. In XIV International scientific conference “Intellectual systems of decision-making and problems of computational intelligence”. 2017.
18. Venture Homepage. URL: <http://probcomp.org/venture/> (дата звернення 14.11.2017).
19. What is a Tensor. URL: [https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/tensors/what\\_is\\_tensor.php](https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/tensors/what_is_tensor.php) (дата звернення 26.09.2017).

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АБСТРАКТНИХ ТИПІВ ДАНИХ  
У ЙМОВІРНІСНИХ МОВАХ ПРОГРАМУВАННЯ**

*Сьогодні існує безліч різних ймовірнісних мов програмування, які певною мірою використовують поняття теорії ймовірностей для розрахунків. Але ми хотіли б знати, які типи даних існують для вирішення ймовірнісних завдань. У роботі ми подаємо системний аналіз абстрактних типів даних вибраними мовами ймовірнісного програмування. Ми виявили кілька моментів. Перший момент полягає в тому, що всі вибрані нами мови, використовують типи даних своїх «батьківських» мов програмування. Другий полягає в тому, що для використання дистрибутивів і випадкових величин використовуються вбудовані функції або методи кожної з мов. І написання власного може призвести до деяких труднощів. Ми спробували зобразити основні сфери використання сучасних ймовірнісних абстрактних типів даних у ймовірнісних мовах програмування.*

**Ключові слова:** ймовірнісне програмування, абстрактні типи даних, ймовірнісні мови програмування, мови програмування.

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АБСТРАКТНИХ ТИПОВ ДАННЫХ  
В ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЯЗЫКАХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

*Сегодня существует множество различных вероятностных языков программирования, которые в определенной степени используют понятия теории вероятностей для расчетов. Но мы хотели бы знать, какие типы данных существуют для решения вероятностных задач. В работе мы представляем системный анализ абстрактных типов данных на выбранных языках вероятностного программирования. Мы обнаружили несколько моментов. Первый момент заключается в том, что все выбранные нами языки используют типы данных своих «родительских» языков программирования. Второй заключается в том, что для использования дистрибутивов и случайных величин используются встроенные функции или методы каждого из языков. И написание своих может вызвать некоторые трудности. Мы попытались изобразить основные сферы использования современных вероятностных абстрактных типов данных в вероятностных языках программирования.*

**Ключевые слова:** вероятностное программирование, абстрактные типы данных, вероятностные языки программирования, языки программирования.

**Білошицька О.К.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ ТА ОЦІНЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕПІЛЕПТИЧНИХ ЕЕГ-СИГНАЛІВ

*У статті досліджується застосування показника Херста й показників складності під час дослідження нормальної постійної динаміки головного мозку та гіперсинхронності. Показано, що стан спокою характеризується високою розмірною складністю й відносно низьким і нестійким рівнем синхронізації нейронних мереж, а епілептичні напади – сильною нелінійною динамікою. Також отримані значення показника Херста й показників складності відрізняються при нормальному та патологічному станах, що може допомогти дослідникам у розробленні ефективних методів прогнозування епілептичних нападів і запобігання їм.*

**Ключові слова:** нелінійна динаміка, ЕЕГ, епілепсія, показник Херста, складність, метод архівації.

**Постановка проблеми.** Епілепсія являє собою групу розладів, які характеризуються рецидивуючими пароксизмальними електричними розрядами кори головного мозку, що призводять до переривчатих порушень функції мозку. Для більшості пацієнтів напади починаються випадково, раптово й неочікувано без яких-небудь попередніх зовнішніх ознак. Такий непередбачуваний характер нападів може призвести до раптових і неочікуваних травм або навіть і смерті.

Точні механізми, які лежать в основі епілепсії, залишаються недостатньо зрозумілими, хоча в сучасній патофізіологічній теорії припускають, що основною причиною є ненормальна діяльність нейронної системи. Під час візуального аналізу ЕЕГ можна спостерігати неспецифічну графіку, але це може зробити лише досвідчений спеціаліст у цій галузі. Проте нещодавні застосування нелінійної динаміки під час дослідження ЕЕГ показали досить цікаві результати при різних станах людини – під час сну, під час патологічних станів, зокрема під час оперативного втручання та при хворобі Альцгеймера. Припущено, що дослідження нелінійності в галузі епілептології може бути обґрунтовано на трьох основних рівнях: нейрофізіологічному (нелінійні динамічні властивості нейронних систем), клінічному (динамічна природа і флуктуація симптомів) і концептуальному (психотичні симптоми як провал стійкості нелінійних мозкових систем). Один із підходів до застосування нелінійних методів до аналізу ЕЕГ

полягає в оцінюванні показника Херста й визначенні складності ЕЕГ-сигналу [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нелінійний аналіз ЕЕГ виявився доволі корисним під час порівняння різних фізіологічних станів. Дуже часто зустрічаються дослідження діяльності головного мозку за допомогою кореляційної розмірності. Підтверджено, що значення кореляційної розмірності вище під час вирішення творчих завдань, ніж під час психічного розслаблення. Низькі значення кореляційної розмірності виявлені в здорових чоловіків у стані неспання, а ще нижчі значення продемонстровані в пацієнтів із хворобою Альцгеймера. Також у клінічних умовах застосування кореляційної розмірності корисне в пацієнтів із хворобою Паркінсона та хворих на шизофренію [2].

Незважаючи на широке застосування кореляційної розмірності, виявлено обмеження нелінійних підходів до аналізу часових рядів. Зокрема, виникає запитання: чи містять часові ряди ЕЕГ нелінійні властивості? Щоб перевірити це, розроблено методи контролю для перевірки нелінійності. За допомогою методу сурогатного тестування даних виявлені ознаки нелінійної динаміки в здорових пацієнтів, у пацієнтів із хворобою Паркінсона та в пацієнтів, які не сплять. Для пацієнтів із шизофренією результати в галузі нелінійності ЕЕГ до цього часу непереконливі [2].

Під час дослідження пацієнтів із шизофренією використовувалися два підходи: оцінювався



вплив когнітивного завдання на динаміку мозку, а також порівнювалася складність мозку пацієнтів із шизофренією і здорових осіб. Основні результати: активність головного мозку характеризувалася збільшенням значень кореляційної розмірності під час активних станів (очі розплющені, підрахунок значень уперед і назад) порівняно з вихідним станом спокою (заплющені очі) у здорових осіб. Це збільшення не спостерігалось в пацієнтів із шизофренією. Більше того, групове порівняння показало значне підвищення значень кореляційної розмірності в пацієнтів порівняно з контролем. Крім того, перевірено наявність нелінійної динаміки, підтверджено переважання нелінійності в ЕЕГ здорових осіб і пацієнтів із шизофренією, а також доведено наявність нелінійності в ЕЕГ пацієнтів з іншими захворюваннями [3].

**Постановка завдання.** Періоди між нападами характеризуються випадковими перехідними хвилями (ізолювані гострі піки, круті хвилі, комплекси пік-хвиля). Динаміка періоду, що передедує нападу, досить складна. Кількість задіяних нейронів у цей час варіюється від десятків до тисяч. Навіть для одного й того ж пацієнта тривалість переходу від спокою до нападу в ділянці кори мозку, що при цьому задіяна, не є постійною. Період нападу являє собою тривалі ділянки поліморфних форм різної амплітуди й частоти, комплексів піків і гострих хвиль, ритмічної гіперсинхронності або електроенцефальної неактивності, які спостерігаються протягом часу, що перевищує середню тривалість цих аномалій у період між нападами [4].

Амплітуда піків не завжди однозначно визначає епілептичний напад. Тим не менше ці піки неважко відрізнити від артефактів: вони мають помітну загострену форму та ритмічний характер. Варто також зазначити, що в більшості випадків патологічні патерни ЕЕГ не замінюють у повному обсязі нормальну активність: вони з'являються тільки періодично, в деяких ділянках голови або проявляються на загальному фоні [5].

Завдання, пов'язані з автоматичним аналізом ЕЕГ епілептиків, можна розділити на три основні групи: визначення нападу, прогноз нападу й визначення місця локалізації нападу. Для всіх цих завдань базовим є вибір параметрів, що відображають відмінності в системі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Реєстрація ЕЕГ відбувалася за стандартною методикою – міжнародною схемою відведень «10-20». Дані ЕЕГ реєструвалися за допомогою 16-канального телеметричного електроенцефало-

графа Expert з відеомоніторингом ТОВ «Компанія Tredex» з верхнім граничним фільтром 30 Гц, постійною часу 0,1 с і частотою дискретизації 400 Гц. Обстеження проводилося в затемненому звукоізоляційному кабінеті. Пацієнти знаходилися в положенні напівлежачи на спеціалізованому кріслі [6].

Дослідження проводилися у відділенні функціональної діагностики серцево-судинної системи та ультразвукового дослідження серцево-судинної системи консультативно-діагностичного центру Державної наукової установи «Науково-практичний центр профілактичної та клінічної медицини» Державного управління справами. Усі пацієнти надали добровільну згоду на проведення дослідження.

Загалом увесь запис ЕЕГ тривав 9 хвилин. Реєструвалася фонові ЕЕГ та основні функціональні проби: очі заплющені, очі розплющені, фотостимуляція на різних частотах, гіпервентиляція. Для візуального оброблення та отримання цифрових даних використовувалося програмне забезпечення ExpertNet.

Досліджено 22 добровольці: 14 дітей віком до 18 років і 8 дорослих, яким у ході діагностичного дослідження та консультативних висновків установлено діагноз G40 Епілепсія.

Отримані ЕЕГ-сигнали проаналізовані разом із лікарями з медичного погляду, заповнено протоколи досліджень і зроблено висновок про функціональні й морфологічні особливості динаміки досліджуваних осіб, про характер і вираженість патології.

Для подальшого дослідження сигналів методами нелінійної динаміки дані про сигнали з відведень структуровані так, що для кожного пацієнта наявні відокремлені стадії, які характеризують такі функціональні стани кори головного мозку:

- норма (міжепілептичні періоди, в яких відсутні прояви патологічної активності);
- преіктальний (період, що характеризується появою помітних відхилень від нормального стану);
- іктальний (наявні характерні прояви патологічної активності мозку);
- постіктальний (загасання патологічної активності).

Показник Херста (H) являє собою оцінку автотельності й кореляційних властивостей, які виявлені у фізіологічних сигналах. Показник Херста використовується для оцінювання наявності або відсутності довгострокової залежності

і її ступеня в часовому ряді. Завдяки своїй стійкості, цей параметр широко застосовується в аналізі часових рядів складних систем. Він містить мінімум припущень про досліджувану систему й дає змогу ввести класифікацію часових рядів залежно від власного значення [4]. Алгоритм обчислення показника Херста складається головним чином з визначення співвідношення  $R/S$ , де  $R$  – розмах значень,  $S$  – стандартне відхилення значень, дані параметри розраховуються для різних поділів сигналу.

За результатами досліджень, показник Херста показує, що нормальна мозкова діяльність людини не корелює в природі, тоді як епілептичні сигнали характеризуються антикореляцією. Значення показника Херста починають зменшуватися протягом преіктального періоду й надалі без суттєвих змін до початку епілептичного нападу, де він досягає мінімальних значень.

Період перед нападом називають критичним, і саме в цей момент велика ймовірність передбачити напад за показником Херста. Аналіз цього параметра дає змогу не тільки відрізнити епілептичний період від нормального, а й виявити помітні змін в преіктальному та постіктальному

періодах. Перед нападом показник зменшується, а одразу після нападу – збільшується. У періодах норми значення параметра майже не змінюються. Такі результати характерні для сигналів з усіх відведень, що локалізовані в зоні нападу. Отже, дослідження ще раз підтверджують антикореляційність та антиперсистентність сигналів електричної активності головного мозку, а показник Херста може бути використаний для класифікації періодів сигналу ЕЕГ й короткочасного прогнозу.

Існує безліч методів оцінювання складності поведінки часових рядів. Метод Лемпеля-Зіва-Уелча (LZW) – це універсальний метод стиснення даних без втрати. В основі цього методу лежить алгоритм кодування на основі словника. Лінійний метод визначення складності заснований на підрахунку кількості повторів буквених пар у закодованій послідовності та заміні найбільш поширених пар новим значенням. Для зручності застосовують таблиці, рядки і стовпчики яких містять однакові значення, що наявні в сигналі. Складність системи визначається відношенням довжини сигналу до та після архівації.

Метод архівації LZ являє собою алгоритм для стиснення даних без втрат. Цей алгоритм є

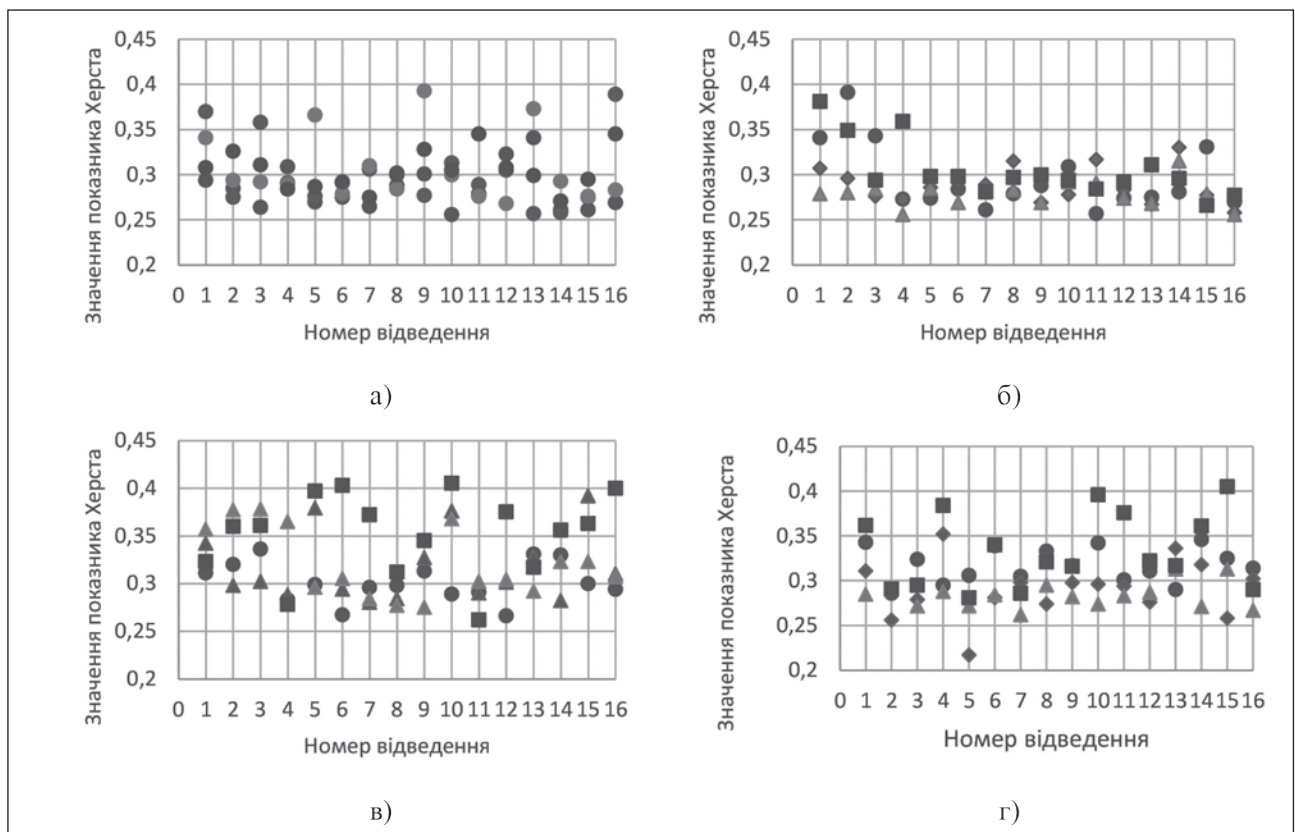


Рис. 1. Значення показника Херста для різних станів і різних вікових категорій: а) хлопчик, 2 роки; б) хлопчик, 12 років; в) жінка, 35 років; г) жінка, 54 роки

зручною оцінкою складності, яка характеризує ступінь упорядкованості чи невпорядкованості просторово-тимчасових патернів [36]. Параметр LZ-складності корелює зі статистичними метриками другого порядку, такими як автокореляція, потужність, спектральна щільність.

Як відомо, постійна активність мозку під час активного стану в здорових дорослих пацієнтів характеризується відносно високим ступенем складності як і у відношенні функціональної мережі, так і у відношенні функціональних джерел. Іншими словами, системи, які взаємодіють із динамічними системами й підсистемами, характерні для нормальної поточної активності мозку, що характеризується відносно слабким рівнем синхронізації між взаємодіючими елементами. Хоч ці взаємодії й слабкі, вони існують і накладають певну структуру на спонтанну динаміку мозку.

Усі порівняння параметрів зроблено для двох груп окремо – діти та дорослі, оскільки структура й функціональність мозку досягає зрілості приблизно у 18 років [7].

На рис. 1 подано графічно отримані значення параметрів показника Херста для різних вікових категорій. По горизонтальній осі відкладено основні 16 відведень: 1 – Fp1; 2 – Fp2; 3 – F3; 4 – F4; 5 – F7; 6 – F8; 7 – T3; 8 – T4; 9 – C3; 10 – C4; 11 – T5; 12 – T6; 13 – P3; 14 – P4; 15 – O1; 16 – O2.

Як показують результати, показник Херста значно нижчий для преіктальних періодів, ніж для постіктальних періодів. Преіктальному та іктальному періодам властиві антиперсистентні властивості, тоді як постіктальному періоду та періоду норми властиві антикореляційні властивості [8].

Складність ЕЕГ-сигналу досліджувалася за допомогою методу архівації LZW. Ступінь ефективності цього алгоритму корелює з вираженістю

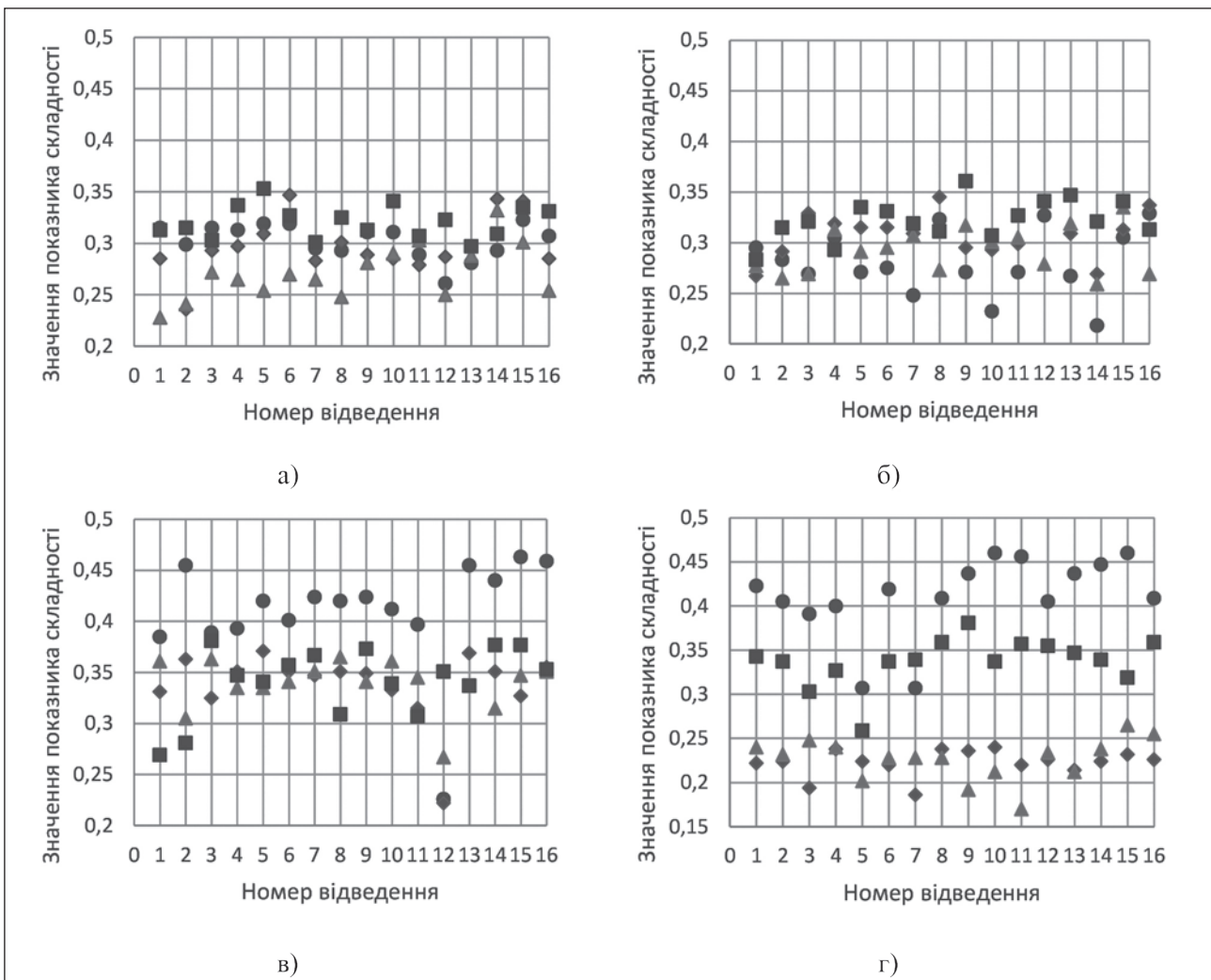


Рис. 2. Значення показника складності сигналу для різних станів і різних вікових категорій: а) хлопчик, 2 роки; б) хлопчик, 12 років; в) жінка, 35 років; г) жінка, 54 роки

проявів епілептичного нападу на ЕЕГ. Проте не при кожному виді епілепсії цей алгоритм є ефективним.

Під час епілептичного нападу спостерігаються значні відмінності в складності сигналу (рис. 2). Для зручності отримані дані показано в однакових граничних межах по вертикальній осі. По горизонтальній осі відкладено основні 16 відведень: 1 – Fp1; 2 – Fp2; 3 – F3; 4 – F4; 5 – F7; 6 – F8; 7 – T3; 8 – T4; 9 – C3; 10 – C4; 11 – T5; 12 – T6; 13 – P3; 14 – P4; 15 – O1; 16 – O2.

За отриманими результатами видно, що складність сигналу змінюється з віком. Зокрема, для дітей характерні високі значення для нормального стану, тоді як для дорослих – для преіктального стану. Нормальний стан характеризується наявністю певних регулярностей у сигналі, про що свідчать дані методу архівації. Складність сигналу знижується задовго (десятки хвилин) до фактичного початку нападу.

Під час дослідження патологічних ЕЕГ-сигналів виявлено, що обчисленні значення параметрів під час нападу суттєво нижчі, ніж при нормальному стані, тому можна зробити висновок, що епілептичні напади можуть бути пов'язані з патологічною «втратою складності». Динаміка викидів піків і хвиль не хаотична.

Перехід від нормального стану до преіктального й від преіктального до іктального, ймовірно, буде пов'язаний з однією або декількома біфуркаціями через зміни в критичних параметрах діяльності.

**Висновки.** Часова динаміка просторового стану спокою є чимось проміжним між випадковістю й упорядкованістю. Патологічна динаміка з аномально високим або низьким рівнем синхронізації, напевно, викликана змінами нейронних мереж у головному мозку. Ці зміни відводять систему від оптимальної динаміки, яка знаходиться

поблизу фазового переходу між низьким і високим рівнями синхронізації.

Під час аналізу ЕЕГ-сигналів поряд із використанням стандартних математичних методів пошук і застосування нових підходів дає змогу отримати нову інформацію про зміни динаміки діяльності головного мозку, а отже, про функціональний стан функціонування нервової системи. Одним із таких підходів є застосування методів нелінійної динаміки, оскільки ЕЕГ-сигнал демонструє не періодичну, а хаотичну динаміку.

Патологічні зміни динаміки мозку характеризуються підвищеними та зниженими рівнями синхронізації. Під час епілептичних нападів динаміка мозку характеризується втратою динамічної складності, сильною нелінійністю й підвищеними рівнями синхронізації. Перехід між нормальною, високоактивною й аномальною динамікою має характер біфуркації або є більш поступовим зі зменшенням синхронізації перед нападом. Виникнення біфуркації припускає критичну зміну одного з параметрів управління системою, яке може характеризуватися збудженням окремих нейронів. Залежно від виду нападу динаміка може змінюватися під час епілептичних нападів і зазвичай зменшується по складності до кінця нападу.

Отримані розрахунки даних ЕЕГ хворих з епілепсією показали, що визначені показники відповідають закономірностям, що досліджені в попередніх роботах. Комплексний розрахунок таких параметрів дає змогу кількісно розрізнити періоди епілептичної активності на ЕЕГ, що може бути в подальшому використано для побудови моделей прогнозування та класифікації. Важливість передбачення епілептичних нападів є обґрунтованою: якщо щонайменше ніж за 20 хвилин до того, як розпочнеться напад, пацієнт буде попереджений про нього, то можна встигнути надати медичну допомогу й уникнути поганих наслідків.

#### Список літератури:

1. Nurujjaman M., Narayanan R., Iyengar A. Comparative study of nonlinear properties of EEG signals of normal persons and epileptic patients. *Nonlinear Biomed Phys.* 2009. № 6. P. 1–9. DOI: 10.1186/1753-4631-3-6.
2. Stam C.J. Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology.* 2005. № 116. P. 2266–2301.
3. Carlino E., Sigaud M., Pollo A., Benedetti F., Mongini T., Castagna F., Vighetti S., Rocca P. Nonlinear analysis of electroencephalogram at rest and during cognitive tasks in patients with schizophrenia. *Psychiatry Neurosci.* 2012. № 37. P. 259–266.
4. Білошицька О.К., Клименко Т.А. Дослідження показників епілептичних ЕЕГ-сигналів за допомогою методів нелінійної динаміки. *Вісник НТУ «ХПІ».* Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». 2017. № 19 (1241). С. 30–34.
5. Acharya U., Sree S. Automated EEG analysis of epilepsy: A review. *Knowledge-Based Systems.* 2013. № 43. P. 147–165.
6. Білошицька О.К. Нелінійна динаміка як інструмент прогнозування патологічних змін на електроенцефалограмі. *Вісник НТУ «ХПІ».* Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». 2016. № 50 (1222). С. 79–83.

7. Койчубеков Б.К., Сорокина М.А., Пашев В.И. Особенности нелинейной динамики ЭЭГ в различных возрастных группах. International Journal of Experimental Education. 2013. № 4. С. 68–72.
8. Patil M., Khads B. Analysis of EEG signal for detection of Epilepsy Seizure. IJETCAS. 2014. № 14. P. 416–420.

### **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПИЛЕПТИЧЕСКИХ ЭЭГ-СИГНАЛОВ**

*В статье исследуются применения показателя Херста и показателей сложности при исследовании нормальной постоянной динамики головного мозга и гиперсинхронности. Показано, что состояние покоя характеризуется высокой размерной сложностью и относительно низким и неустойчивым уровнем синхронизации нейронных сетей, а эпилептические припадки – сильной нелинейной динамикой. Также полученные значения показателя Херста и показателей сложности отличаются при нормальном и патологических состояниях, что может помочь исследователям в разработке эффективных методов прогнозирования и предупреждения эпилептических припадков.*

**Ключевые слова:** нелинейная динамика, ЭЭГ, эпилепсия, показатель Херста, сложность, метод архивации.

### **ANALYSIS AND ASSESSMENT OF NON-LINEAR CHARACTERISTICS OF EPILEPTIC EEG SIGNALS**

*The scientific article investigates the use of the Hurst index and the complexity indicators in the study of normal constant brain dynamics and hypersynchronous. High dimensional complexity and relatively low and unstable levels of neural network synchronization characterize the state of tranquility, and epileptic seizures are characterized by “high” level nonlinear dynamics. The Hurst index and complexity indices differ in normal and pathological conditions, which can help researchers, develop effective methods for predicting and preventing epileptic seizures.*

**Key words:** nonlinear dynamics, EEG, epilepsy, Hurst index, complexity, archiving method, LZW.

*Всечерковська А.С.*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

*Поперешняк С.В.*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІЛЬТРУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*У статті розглянуто процес виробництва фільтруючих елементів із «вспіненого» поліпропілену. Наведено схему виготовлення фільтруючих елементів шляхом нанесення розплавленого поліпропілену. Сформульовано набір функцій, які необхідні при автоматизації даного процесу. Запропонована схема алгоритму автоматизованого управління виробництвом фільтруючих елементів. Визначена архітектура програмного засобу, який буде входити до складу автоматизованої системи управління процесом виробництва.*

**Ключові слова:** автоматизована система, технологічний процес, алгоритм, архітектура, фільтр із поліпропілену.

**Постановка проблеми.** Стратегія розвитку сучасного виробництва передбачає істотне підвищення рівня автоматизації, перш за все, технологічних процесів (ТП), при реалізації яких вихідна сировина, матеріали перетворюються в закінчений продукт. Однак сьогодні технологічні процеси є дуже складними та іноді небезпечними, особливо при роботі з хімічними матеріалами, можливості людини обмежені. При роботі з полімерними матеріалами досить актуальним є перехід до автоматизованої системи управління виробництвом.

**Автоматизована (автоматична) система управління технологічними процесами (АСУ ТП)** – це сукупність технічних засобів і методів збору, обробки, аналізу та видачі інформації і впливу на ТП, які у взаємодії з людиною і (або) між собою забезпечують заплановане протікання технологічного процесу [1].

У такій системі людина отримує інформацію про технологічні параметри і результати у вигляді повідомлень, таблиць і графіків на екрані дисплея і через інші засоби аудіовізуального представлення інформації. Часто система розраховує на основі цих даних рекомендовані значення керуючих впливів на ТП, однак вирішення питання про використання цих рекомендацій залишається за людиною. Однак іноді людина може стати джерелом обмежень, коли вона не може прийняти швидкого рішення, а іноді може прийняти неправильне рішення.

Включення людини в систему управління ТП дозволяє уникнути аварійних ситуацій при виході з ладу будь-яких елементів системи управління, тому що людина може вибрати і прийняти необхідне рішення і продовжити технологічний процес навіть за відсутності частини інформації. Іншими словами, на допомогу приходять досвід, кваліфікація та інтуїція. Наприклад, вихід з ладу датчика температури в системі аварійного захисту, що відключає технологічне обладнання, може бути сприйнятий людиною (оператором) як інформація для роздумів. Оцінивши ситуацію, він може і не переривати процес, якщо інші параметри знаходяться в нормі.

Створення систем управління складними технологічними процесами висуває ряд важливих проблем. Особливе місце займає проблема синтезу моделей управління у взаємодіючих підсистемах, необхідних для вибору і обґрунтування їх оптимальних структур і параметрів. При цьому необхідно забезпечити ці підсистеми бажаними властивостями і характеристики з точки зору інженерів. Крім того, в кожному конкретному випадку є специфічні умови виробництва, які можуть висувати свої показники, такі як: продуктивність технологічного процесу, його надійність, вірогідність відмови обладнання і середній час простоїв технологічного комплексу та ін.

Актуальність розробки нових підходів до інформаційного моделювання складних систем

управління технологічними процесами обумовлена, з одного боку, постійно зростаючою складністю вирішуваних завдань в промисловості, з іншого боку, появою нових досягнень в інформатиці, потенційно здатних значно поліпшити існуючі АСУТП. Крім того, розширення ринку застосування інтелектуальних АСУТП дозволяє підвищити конкурентоспроможність вітчизняних розробників програмних комплексів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Одним із прикладів виробництва, яке потребує системного підходу до автоматизації, є виробництво фільтруючих елементів (картриджів) із «вспіненого» поліпропілену. На сьогодні процес виробництва таких картриджів із «вспіненого» поліпропілену запроваджено в багатьох країнах світу. В Європі та США дана технологія виробництва картриджів і нетканих полотен називається melt blowing, скорочено – МВ, що дослівно означає «сплав, що роздувається». В Україні – пневмоекструзія, а картриджі – пневмоекструзині [2]. Процес цей унікальний, оскільки дозволяє отримати мікроволокна з діаметрами в діапазоні від 2 до 4 мікрон. Хоча технологія «здатна» і на більш тонкі волокна до 0,1 мікрона, і на більш грубі. Зрозуміло, що чим тонше діаметр волокон в шарі, тим менше розміри пір у фільтрувальному елементі і тим він краще затримує мікронні частки.

У роботах дослідників найчастіше розглядають нові технології у сфері фільтрувальних мате-

ріалів, структури фільтрів, сировинний склад [3]. Також увага приділяється самому процесу фільтрації рідини через фільтруючий елемент [4; 5]. Але те, що стосується автоматизації виробництва фільтруючих елементів, то до сьогоднішнього дня немає схожих досліджень у цьому напрямку.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).**

1. Проаналізувати і узагальнити інформацію про виготовлення фільтруючих елементів шляхом нанесення розплавленого поліпропілену.

2. Виявити функції, які необхідні для автоматизації даного процесу шляхом узагальнення завдання, які ставляться при створенні автоматизованої системи.

3. Скласти алгоритм автоматизованого управління виробництвом фільтруючих елементів.

4. Запропонувати архітектуру програмного засобу, який буде входити до складу автоматизованої системи управління процесом виробництва.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Розглянемо процес виготовлення фільтруючих елементів методом, який полягає у формуванні розплавленого поліпропілену через фільтри з подальшим розтягуванням незастиглого екструдату потоком гарячого повітря і нанесенням на обертовий гвинтовий циліндричний стержень. Конструкція приймального пристрою (він же обертається, гвинтовий стержень) дозволяє забез-

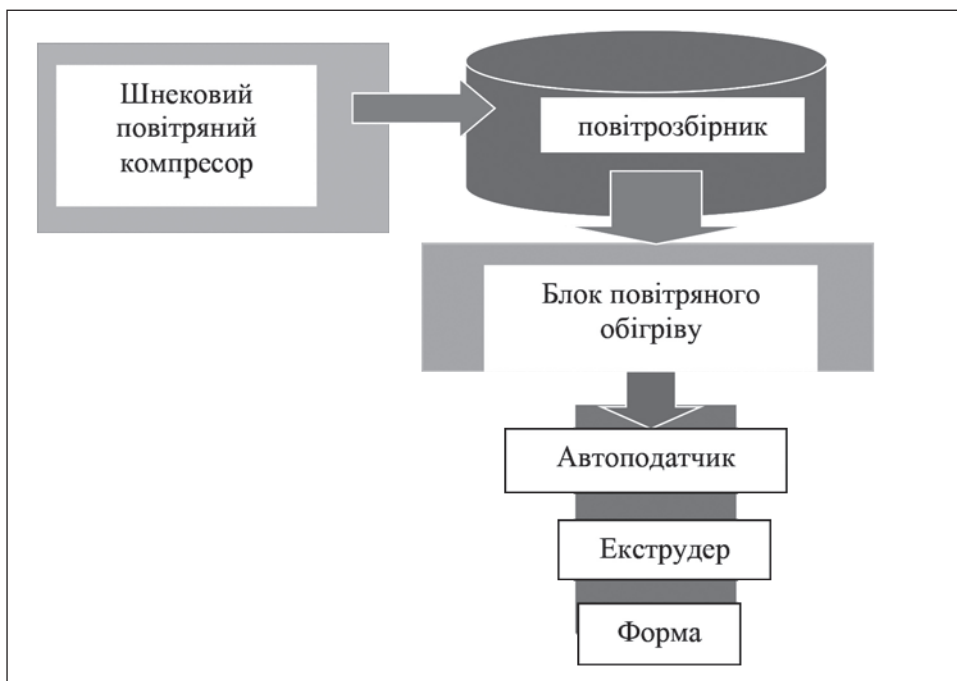


Рис. 1. Схема виробництва

печити безперервний процес формування безкаркасних елементів (рис. 1).

Отримана структура картриджів жорстка і стабільна, оскільки зафіксована термічними зшивками мікроволокон і трохи підпресована спеціальним валиком. При уявній простоті технології оператор повинен контролювати 19 параметрів процесу, враховуючи вхідний контроль якості вихідної сировини. Змінюючи ключові параметри, можна отримувати картриджі різного мікронного рейтингу від 1 до 100 мікрон, різної довжини і діаметру, починаючи з 10-дюймових закінчуючи 40-дюймовими.

Проведемо аналіз вимог до системи. Виходячи із структури процесу виробництва поліпропіленових механічних картриджів із «вспіненого» поліпропілену виникає набір функцій, які необхідні при автоматизації. Перед творцями АСУ ТП ставляться такі завдання, мають багато спільного в різних галузях промисловості [6; 7]. Це, наприклад:

- 1) органи управління;
- 2) екранні форми відображення параметрів процесу;
- 3) можливість створення архівів аварій, подій і поведінки змінних процесу в часі, а також повне або вибіркоче збереження параметрів процесу через задані проміжки часу постійно або за умовою;
- 4) спрощена мова для реалізації алгоритмів керування, математичних і логічних обчислень;
- 5) засоби документування технологічного процесу;
- 6) ядро або монітор реального часу, який забезпечує передбачуваний час від кліка на зовнішні події;
- 7) взаємозв'язок між різними компонентами системи;
- 8) мережеві функції;
- 9) засоби захисту від несанкціонованого доступу в систему;
- 10) багатовіконний графічний інтерфейс.

Виходячи із зазначених вище вимог до автоматизованої системи виробництва, переходимо до алгоритмів управління та визначення архітектури програмного застосунку.

Для управління станом об'єкта необхідно мати інформацію про цей стан. Тому при розробці таких систем обов'язковий вибір датчиків. Кількість датчиків і обсяг даних, що поставляються ними повинні бути достатніми для отримання повної інформації про об'єкт, необхідної для вирішення конкретних завдань управління.

Можна виділити два способи управління станом об'єкта:

1) послідовність дій (станів об'єкта) жорстко визначена, і інформація датчиків дозволяє контролювати закінчення дії або перехід об'єкта в новий стан, кожне нове дія починається після закінчення попереднього;

2) вибір нової дії (стану об'єкта) визначається поточними значеннями параметрів, кожна нова дія починається після того, як виконуються необхідні для цього умови.

Перший спосіб називають також програмним, а послідовність дій об'єкта, яка реалізується при цьому управлінні – програмою. У загальному випадку управління може включати в себе обидва способи, наприклад у програмі враховується стан параметрів, у залежності від якого буде потрібно та чи інша послідовність дій.

Алгоритм, являє собою послідовність дій, що ведуть до досягнення мети, яка полягає в отриманні інформації про значення всіх технологічних параметрів, наприклад температура, тиск, об'єм матеріалу. У загальних рисах цей алгоритм може бути наступним: перевірити працездатність і готовність пристрою і всього устаткування системи, перевірити (або задати) межі діапазону номінальних значень і граничні значення всіх параметрів, після чого провести опитування всіх датчиків технологічних параметрів з аналізом отриманої від кожного датчика інформації. Опитування і аналіз можуть повторюватися з необхідною частотою протягом усього часу роботи системи контролю.

Блок-схема алгоритму автоматизованого управління виробництвом, представлена на Рис. 2. Спочатку перевіряється готовність пристрою і устаткування. Одночасно перевіряється готовність зовнішніх пристроїв.

До складу до автоматизованої системи виробництва обов'язково входить програмний засіб, який є складним програмним продуктом, тому доцільно виділити основні частини цього засобу, які можуть розглядатися окремо. Тоді з'явиться можливість вносити зміни та розширювати функціональність, не змінюючи увесь засіб. Програмний засіб розділений на дві частини – серверна частина засобу, яка займається обробкою, зберіганням та обміном інформації. Клієнтська частина засобу, яка представляє із себе мобільний додаток, який збирає та надає інформацію в зручному для користувача (оператора) вигляді.

Для побудови серверної частини засобу використано шаблон проектування MVC [8]. У цьому шаблоні Модель відповідає за предметну область, Контролер відповідає за взаємодію із користувачем, Вид відповідає за відображення даних. Для



зберігання інформації на рівні Модель передбачено використання реляційної БД.

Виходячи з вищенаведеного, серверна частина засобу складається з наступних основних частин: реляційна БД, ORM [9], модель даних, бізнес логіка, контролери, API засобу [10], представлення даних. Архітектура серверної частини засобу (рис. 3).

Контролери – компоненти, що забезпечують можливість обробки вхідного запиту та виконання заздалегідь передбачену послідовність операцій бізнес логіки. Представлення даних – компонент, який визначає, що і як буде надаватися та відображатися користувачеві.

Бізнес логіка – компонент, що надає та реалізує бізнес логіку предметної області. ORM –

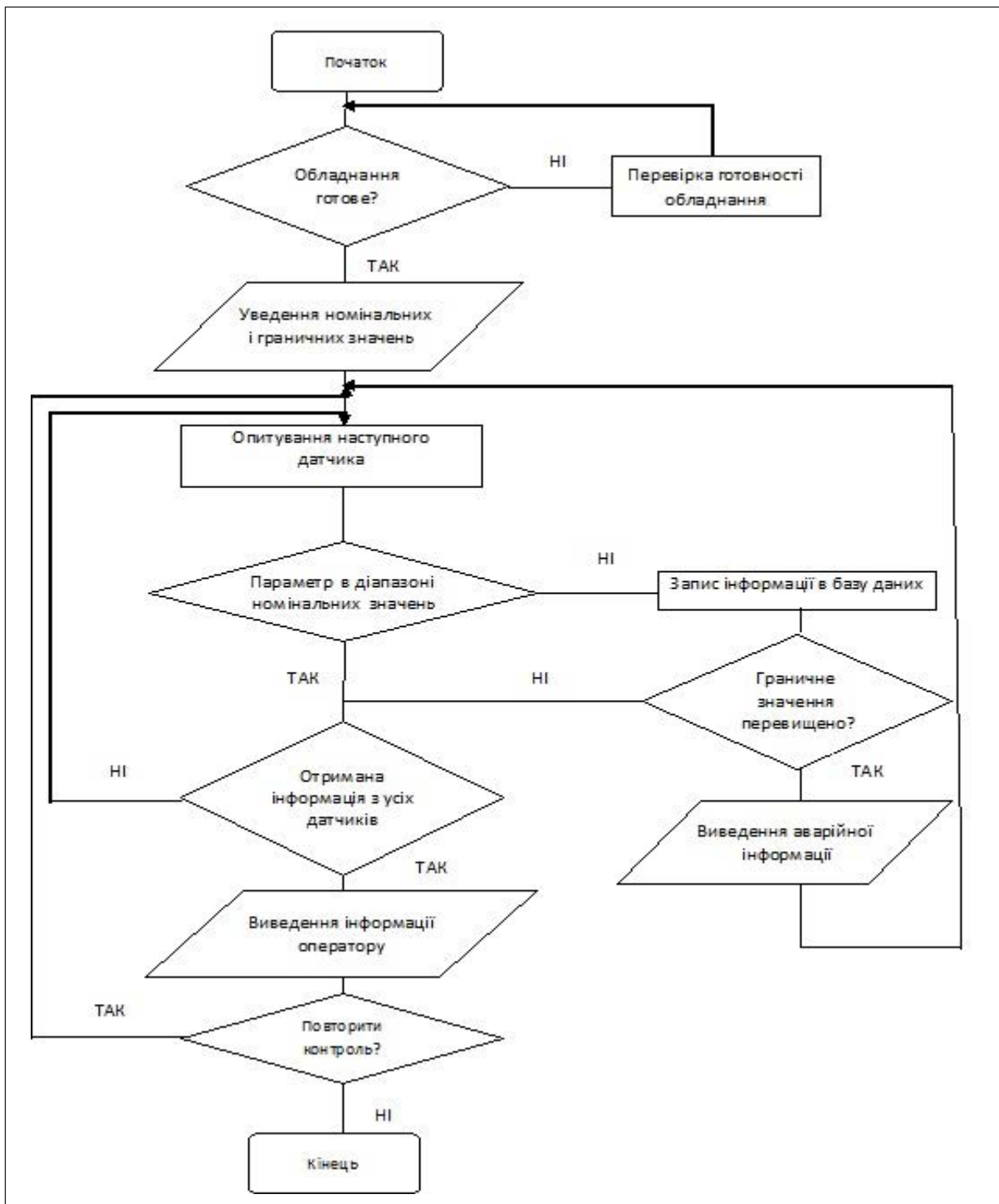


Рис. 2. Блок-схема алгоритму автоматизованого управління виробництвом

компонент, який займається об'єктно-реляційним відображенням даних з БД до моделі предметної області та навпаки, також компонент забезпечую роботу з основними операціями БД такими, як створення, пошук, зміна та видалення. Модель даних – компонент, що моделює дані предметної області в зручному для обробки вигляді та надає доступ іншим частинам засобу до них.

Реляційна БД – компонент, задачею якого є довготривале зберігання даних предметної області. API

засобу – компонент, який займається розпізнаванням запиту та викликом відповідного контролера.

Для побудови клієнтської частини засобу використано шаблон проектування MVP [11]. У цьому шаблоні Вид отримує події з користувацького інтерфейсу та викликає Представника, якщо потрібно. Представник відповідає за оновлення Виду новими даними, що генеруються Моделлю.

Моделю можна розглядати в якості інтерфейсу до даних, що оброблюються. Будь-яка частина

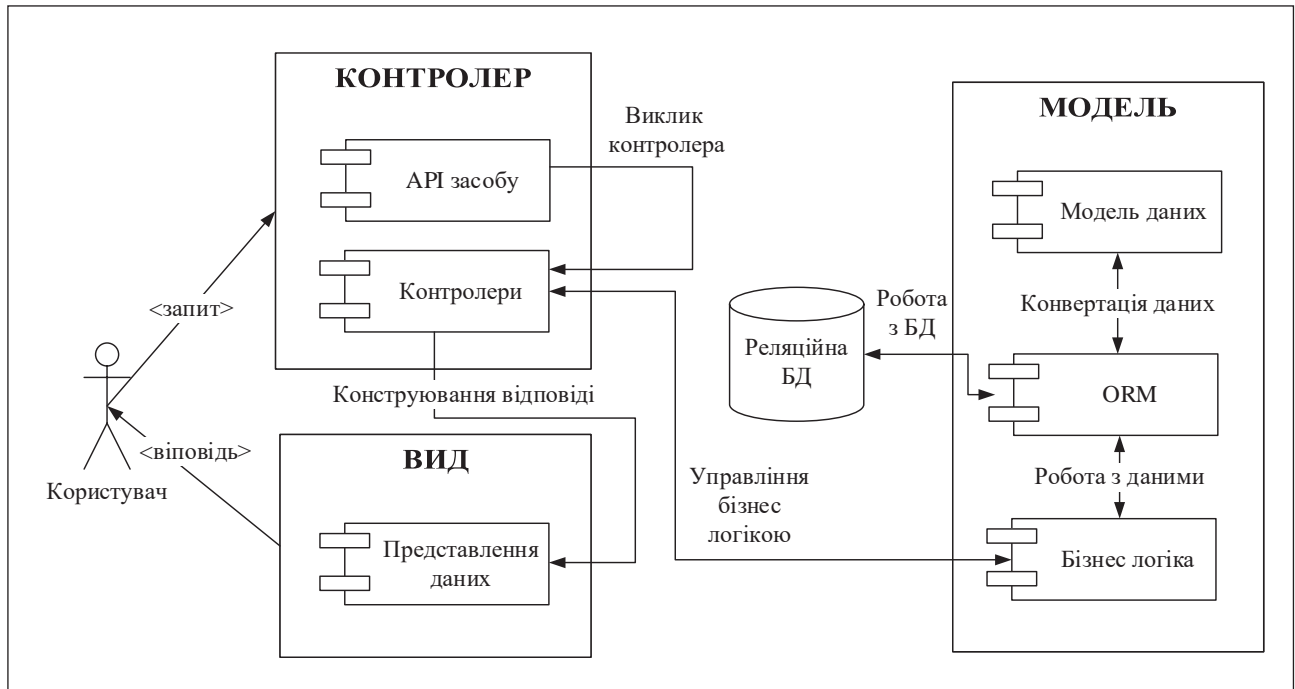


Рис. 3. Архітектура серверної частини засобу

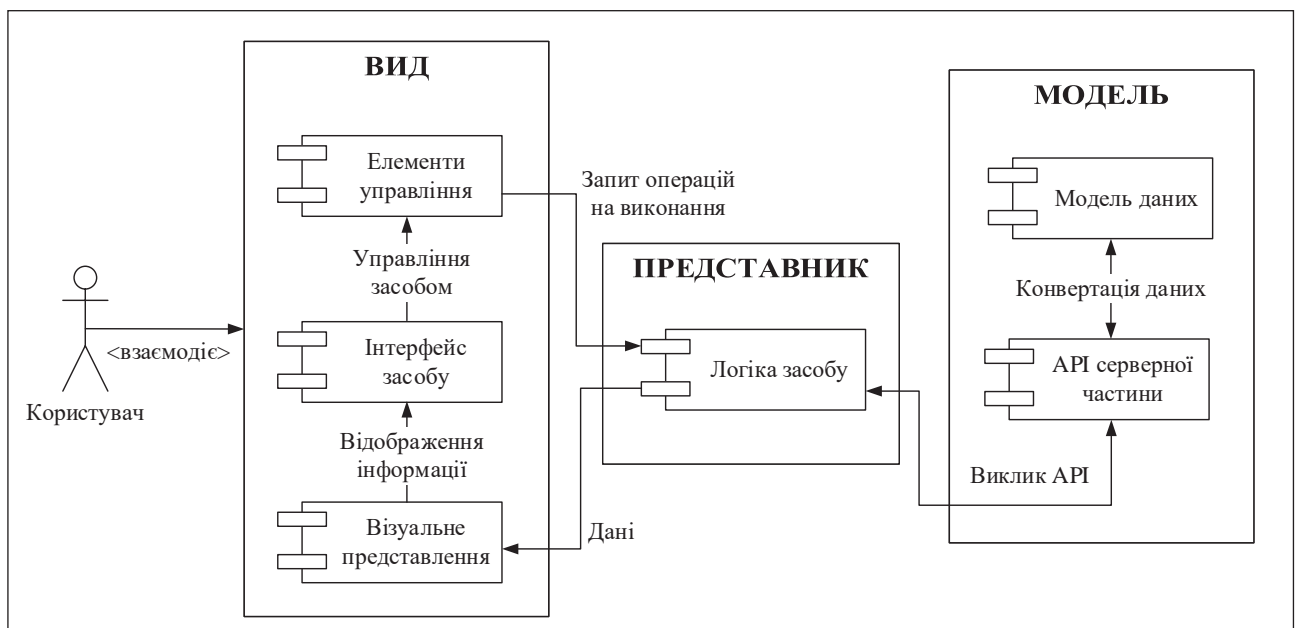


Рис. 4. Архітектура клієнтської частини засобу

програми, що потребує дані для роботи, повинна пройти через інтерфейс або методи, що визначені розробником, який підтримує частину моделі.

Вид, як впливає з назви, є тією частиною, з якою взаємодіє користувач. Програма може мати будь-яку кількість Видів.

Представник виступає в якості посередника між Видом та Моделлю. Вся бізнес логіка написана на цьому рівні. Представник отримує події від Виду та отримує і формує дані з моделі так, щоб Вид міг без проблем відобразити.

Виходячи з вищенаведеного, клієнтська частина засобу складається з наступних основних частин: елементи управління, інтерфейс засобу, візуальне представлення, логіка засобу, модель даних, API серверної частини засобу. Архітектура клієнтської частини засобу (рис. 4).

Логіка засобу – компонент, що забезпечує виконання бізнес логіки засобу. При цьому логіка засобу оновлює модель даних так, щоб вона відображала поточний стан. Візуальне представлення – компонент, який визначає, що і як буде відображатися користувачу. Елементи управління – компонент, через який користувач управляє засобом.

При цьому визначається набір дій, які користувач може виконувати з засобом, і зв'язок цих дій з логікою засобу. Інтерфейс засобу – компонент, що визначає яким чином інформація відображаються на екрані і взаємодія користувача з елементами управління. Модель даних – компонент, що зберігає значення змінних, які використовуються в програмі, і що надає до них доступ іншим частинам засобу. API серверної частини засобу – компонент, що забезпечує зв'язок із серверною

частиною засобу та надає зручний інтерфейс для роботи із сервером.

Взаємодія між клієнтською та серверною частинами засобу здійснюється у відповідності до архітектурного стилю REST з використанням протоколу HTTP як протоколу передачі даних та форматом даних JSON, як основний текстовий формат передачі відповіді. Використання JSON формату забезпечить зручний API для використання, оскільки із цим форматом можуть працювати усі розповсюджені мови програмування.

### Висновки.

Описано процес виробництва картриджів із «вспіненого» поліпропілену. Виходячи із структури процесу сформульовано набір функцій, які необхідні при автоматизації цього процесу. Запропонована схема алгоритму управління станом об'єкта автоматизації.

Була визначена архітектура програмного засобу, який буде входити до складу автоматизованої системи управління. Вона розділена на серверну та клієнтську частину, які в свою чергу мають різні архітектурні стилі MVC та MVP, що підвищить простоту розробки та супроводження програмного комплексу.

У майбутньому планується подальша робота над процесом автоматизації виробництва поліпропіленових механічних картриджів, проектування методів контролю та взаємодії компонентів системи з подальшим впровадженням на підприємствах, які займаються виготовленням фільтруючих елементів. Тема є актуальною і малодослідженою в межах даного виробництва в Україні.

### Список літератури:

1. Михеев В. А. Автоматизация процессов ОМД: электрон. учеб. пособие / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). Самара, 2012.
2. Фильтрующие картриджи: от простого к сложному. URL: <http://waternet.ua/news/newsletter/122/> (дата звернення 29.01.2018).
3. Защепкіна Н.М., Дрегуляс Е.П., Конахевич Н.Р. Аналіз розвитку виробництва фільтрувальних матеріалів Вісник Хмельницького національного університету. 2013. № 3. С. 87–89.
4. Vecherkovskaya, A., Popereshnyak, S. Comparative analysis of mathematical models forming filter elements. 2017 XIIIth International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). DOI: 10.1109/memstech.2017.7937545.
5. Vecherkovskaya A.S., Popereshnyak S.V. Mathematical modeling of the process of fluid filtration through a multi-layer filtering element. Technology audit and production reserves. 2017. Vol. 4 № 3(36). P. 9–13.
6. Остроух А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / за ред. А.В. Остроух. Москва: ООО «Техполиграфцентр», 2011. 240 с.
7. Остроух А.В. Основы построения систем искусственного интеллекта для промышленных и строительных предприятий Москва: ООО «Техполиграфцентр», 2008. 280 с.
8. Model-View-Controller design pattern. URL: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSZLC2\\_7.0.0/com.ibm.commerce.developer.doc/concepts/csdmvcdespat.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSZLC2_7.0.0/com.ibm.commerce.developer.doc/concepts/csdmvcdespat.htm). (дата звернення: 20.01.2018)

9. Mapping objects to relational databases URL: <https://www.ibm.com/developerworks/library/ws-mapping-to-rdb/>.(дата звернення: 21.01.2018)

10. Richardson L., Amundsen M., Ruby S. RESTful Web APIs: Services for a Changing World . 2013. С. 29–87.

11. Android. Пару слов об MVP + rxJava URL: <https://habrahabr.ru/post/252903/>.(дата звернення: 28.01.2018).

### **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*В статье рассмотрен процесс производства фильтрующих элементов из «вспененного» полипропилена. Приведена схема изготовления фильтрующих элементов путем нанесения расплавленного полипропилена. Сформулировано набор функций, которые необходимы при автоматизации данного процесса. Предложена схема алгоритма автоматизированного управления производством фильтрующих элементов. Определена архитектура программного средства, которое будет входить в состав автоматизированной системы управления процессом производства.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система, технологический процесс, алгоритм, архитектура, фильтр из полипропилена.

### **CONSTRUCTION FEATURES OF AUTOMATED FILTERING ELEMENTS MANUFACTURE SYSTEM**

*The article examines filtered elements from "foamed" polypropylene production process. The scheme of filtering elements manufacturing by applying molten polypropylene is given. Formulated a set of functions that are necessary for the automation of this process. The scheme for filter elements production automated control algorithm is proposed . The software architecture is defined, which will be part of the automated process control system.*

**Key words:** automated system, technological process, algorithm, architecture, polypropylene filter.

УДК 004.031.42

**Вітюк А.Є.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Корнага Я.І.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Барабаш А.О.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЗАХОПЛЕННЯ НЕВІДОМИХ ОБ'ЄКТІВ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВІЗУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*У статті охарактеризовано проблему захоплення незнайомих об'єктів мобільним роботом, оснащеним однією камерою без додаткових датчиків глибини. Визначено основні властивості такої робототехнічної системи. Розглянуто метод отримання щільної тривимірної моделі об'єкта з карти середовища на основі підходу одночасної локалізації і картографування, що базується на передбаченні карти глибини у режимі реального часу з використанням згорткової нейронної мережі. Отримана тривимірна модель застосована в методі планування стійкого захоплення об'єкту роботизовано рукою, що реалізований на основі аналізу властивостей симетрії серединної вісі моделі об'єкта.*

**Ключові слова:** захоплення об'єктів, мобільний робот, реконструкція середовища, одночасна локалізація і картографування.

### 1. Вступна частина

**Постановка проблеми.** У роботі розглядається проблема захоплення невідомих об'єктів мобільним роботом, що орієнтується в навколишньому середовищі та може переміщуватись у ньому. Об'єкти для захоплення є невідомими та сприймаються вперше через систему обробки візуальної інформації. Сучасні роботи можуть бути запрограмовані для виконання багатьох складних завдань по маніпулюванню, починаючи від використання інструментів для збирання складних машин і до проведення високоточних медичних операцій [1]. Але автономне захоплення передчасно невідомого об'єкта з використанням мінімального набору датчиків, що отримують інформацію про стан навколишнього середовища, все ще залишається складною проблемою. При спробі захоплення об'єкту, характеристики якого є завчасно відомими, або якщо відома повна тривимірна модель об'єкта, то існують алгоритми з різними підходами проведення процедури захоплення. Але на практиці отримання повної та точної реконструкції об'єкта, що є невідомим

для робота, є окремою складною задачею. Для пасивних стереосистем тривимірна реконструкція об'єктів з малотекстурованою поверхнею є нерозв'язною задачею. У варіанті, коли стереопсис дає задовільний результат, реконструюються зазвичай лише видимі ділянки об'єкта.

Автоматичне захоплення невідомого об'єкту за допомогою одного зображення є складною проблемою, тому що положення та форма об'єкта є невідомими та можливі конфігурації захоплюючого пристрою, для здійснення жорсткого захоплення, можуть варіюватися. При цьому для рухомого робота, що переміщується в просторі, постановка задачі розрахунку точок захоплення має відмінні умови. На вхід такої системи подається не лише одне зображення сцени з цільовим об'єктом, а послідовність кадрів (відео), за допомогою якого можливо отримати зображення об'єкту з різних ракурсів та розрахувати щільну тривимірну реконструкцію.

Потрібно розглянути систему захоплення невідомого об'єкту мобільним роботом. Ця система для локалізації в навколишньому середовищі та

взаємодії з об'єктом використовує тривимірну реконструкцію отриманих з камери зображень. Система складається з монокамери, роботизованої руки з 7 степенями свободи та захоплюючої кінцівки. На основі відеопотоку з камери відбувається побудова карти навколишнього середовища та реконструкція моделі об'єкта. У процесі сканування, система отримує важливу інформацію щодо структури об'єкта, форми, розміру та орієнтації у просторі. Така обробка та побудова моделі має відбуватися в режимі реального часу.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** В останні десятиліття проблема автоматичного захоплення невідомих об'єктів стала відігравати все більшу роль в машинному баченні. Більшість розглянутих алгоритмів використовують певний вид навчання для здійснення стійкого захоплення.

Оскільки захоплення передбачає контакт та сили пальців на поверхню об'єкта, то важливо мати достовірну інформацію як про руку, так і про поверхню цільового об'єкта. Необхідно враховувати обмеження руки робота та конфігурації об'єкта, а також обмеження поставленого завдання [2]. Незважаючи на наявність підходу зі здійснення захоплення лише по двовимірним зображенням [3; 4], більшість технік полягають в обробці тривимірних даних. З огляду на складність поставленої задачі багато робіт були спрямовані на спрощення тривимірної форми, зокрема плоских представленнях [5] та компланарності, що комбінується з інформацією про колір [6]. Інші підходи передбачають наявність точної моделі об'єкта або такої, що складається з високорівневих примітивів. Прикладом є використання принципу синергії руки [7; 8; 9]. Також існує підхід із застосуванням машинного навчання, зокрема алгоритму Support Vector Machines (SVM) та використанням примітивів форм високого рівня [10]. Алгоритм з навчанням на основі якості двовимірних захоплень, що базується на нейронних мережах та генетичному алгоритму, представлений у роботі "Real-Time Visual Grasp Synthesis Using Genetic Algorithms and Neural Networks" [11].

Задача побудови реконструкції навколишнього середовища роботом є актуальною та активно досліджується. Оскільки камери глибини не є настільки поширеними, як кольорові камери, багато робіт пов'язані із щільними та напівщільними методами одночасної локалізації та картографування (simultaneous localization and mapping – SLAM) по зображенням з однієї камери [12; 13; 14].

**Постановка завдання.** Одним з основних обмежень монокулярних підходів до одночасної лока-

лізації та картографування є оцінка абсолютного масштабу. Коли оцінка позиції камери та реконструкція сцени відбувається досить точно, абсолютний масштаб такої реконструкції залишається неоднозначним, обмежуючи використання таких методів. Деякі підходи дозволяють вирішити проблему за допомогою детектування об'єктів шляхом зіставлення сцени із задалегідь визначеним набором тривимірних моделей таким чином, щоб відновити вихідний масштаб на основі розрахованого розміру об'єкта [15], який, тим не менше, не має сенсу за відсутності відомих об'єктів у сцені.

У даній роботі ми поєднуємо метод одночасної локалізації та картографування, що дозволяє позбавитись вказаних проблем та отримати реконструкцію сцени, в якій знаходиться мобільний робот, із методом розрахунку параметрів об'єкта на цій сцені для здійснення стійкого захоплення роботизованою рукою.

## 2. Отримання моделі об'єкта та розрахунок параметрів захоплення

*Кінематика робота.* Кінематичне з'єднання [16] складається з набору твердих тіл (що називаються ланками), приєднаних один до одного через механізми (що називаються зв'язками), які обмежують їх рух. Зв'язки мають від 1 до 6 степенів свободи, що визначають обмеження руху приєднаних ланок. Зв'язок, який приєднує ланку А до ланки В та має конфігурацію  $q_i$  відображає трансформацію:  $T_B^A(q_i) \in SE(3)$ , і якщо  $q_i$  змінюється, то так само змінюється і трансформація між ланками А та В.

Перетворення будь-якої ланки  $L_i$  щодо стійкої системи відліку  $W$  може бути розраховано шляхом проходження кінематичним деревом та обчислення загальних перетворень, що ведуть від кожного з'єднання до кореня дерева (цей процес називається прямою задачею кінематики):

$$T_L^W = T_L^{L_{i-1}}(q_{i-1}) \dots T_L^{L_2}(q_2) T_L^W$$

Конфігурацією робота  $q \in \mathbb{R}^N$  є вектор, що поєднує степені свободи всіх зв'язків:

$$q = [q_1 \dots q_N]^T$$

Часткова похідна  $i$ -тої системи відліку ланки по  $q$  має назву кінематичного Якобіана ланки, та для простих кінематичних ланцюгів може бути ефективно знайдено аналітичне рішення:

$$J_i(q) = \frac{\partial}{\partial q} T_L^W$$

*Датчики глибини зображення.* Для відображення структури навколишнього середовища за допомогою системи комп'ютерного зору робот повинен бути оснащений датчиками, що дозволять здійснити тривимірну реконструкцію серед-

овища, а не лише двовимірне положення оточуючих об'єктів. Для цього може бути використана стерео камера або глибинна камера. Позначимо глибинне зображення  $I_D$ , як функція з областю визначення  $\odot \in \mathbb{R}^2$ . Відношення між тривимірними точками сцени та двовимірними точками на зображенні може бути змодельовано за допомогою простої пінхольної моделі камери:

$$Proj(x, y, z) = [u, v] = \left[ \frac{f_x x}{z} + c_x, \frac{f_y y}{z} + c_y \right]$$

де  $u, v$  – де двомірні координати на зображенні;  $x, y, z$  – тримірні координати точок в системі координат камери та  $f_x, f_y, c_x, c_y$  – внутрішні параметри камери (фокусна відстань і центр камери – *focus* відповідно). Визначимо також обернену проєкційну модель, яка приймає на вхід координати з камери  $u, v$  та вимір глибини точки  $z$ , та перетворює їх в тримірний вектор відносно фокусної точки камери. Отримана множина тримірних точок називається хмарою точок за глибинним зображенням. Для конкретного пікселя  $u, v$  з глибиною  $z$ , відповідна точка з хмари точок визначається наступним чином:

$$Proj^{-1}(u, v, z) = z \left[ \frac{u - c_x}{f_x}, \frac{v - c_y}{f_y}, 1 \right]$$

*Реконструкція середовища мобільним роботом.* Для вирішення задачі навігації мобільного робота використовується одночасна локалізація і картографування (ОЛК). Вона полягає в побудові і оновленні мапи невідомого оточуючого середовища з одночасним відстежуванням місцезнаходження під час руху у цьому середовищі.

При заданій послідовності зображень  $o_t$  з камери робота в дискретні проміжки часу  $t$ ,

задачею ОЛК є розрахунок і визначення положення робота  $x_t$  і мапи оточуючого середовища  $m_t : P(m_t, x_t | o_{1:t})$ .

У даній роботі застосовується реалізація ОЛК методом CNN-SLAM [17]. Перевагою цього алгоритму є використання згорткових нейронних мереж для реконструкції по зображенням з монокамери. Точна та щільна тривимірна реконструкція досягається використанням прогнозованих карт глибини з глибинної нейронної мережі. Такі прогнозовані щільні карти глибини об'єднані зі значеннями глибини, отриманими з прямого монокулярного ОЛК. Схема методу зображена на рис. 1.

Алгоритм надає перевагу передбаченій глибині на частинах зображення, де підхід монокулярного ОЛК, як правило, не працює. Наприклад, вздовж мало текстурованих областей. Крім того, надається оцінка абсолютного масштабу отриманої реконструкції.

Оцінка положення камери відбувається шляхом визначення ключових кадрів  $k_1, \dots, k_n \in \mathcal{K}$  як структурних елементів, на яких здійснюється ОЛК. Кожен ключовий кадр  $k_i$  пов'язаний з позицією камери  $T_{k_i}$ , щільною картою глибини  $D_{k_i}$  та картою невизначеності глибини  $U_{k_i}$  (ступінь довіри кожному значенню глибини). Поточна позиція камери являє собою трансформацію  $t$ -го ключового кадру відносно  $t-1$  ключового кадру і складається з поворотної матриці  $3 \times 3$   $R_t \in \mathbb{SO}(3)$  та тримірного вектора переміщення  $t_t \in \mathbb{R}^3$ :

$$T_t^{k_i} = [R_t, t_t] \in \mathbb{SE}(3)$$

Ця трансформація оцінюється шляхом мінімізації фотометричної похибки між інтенсивністю

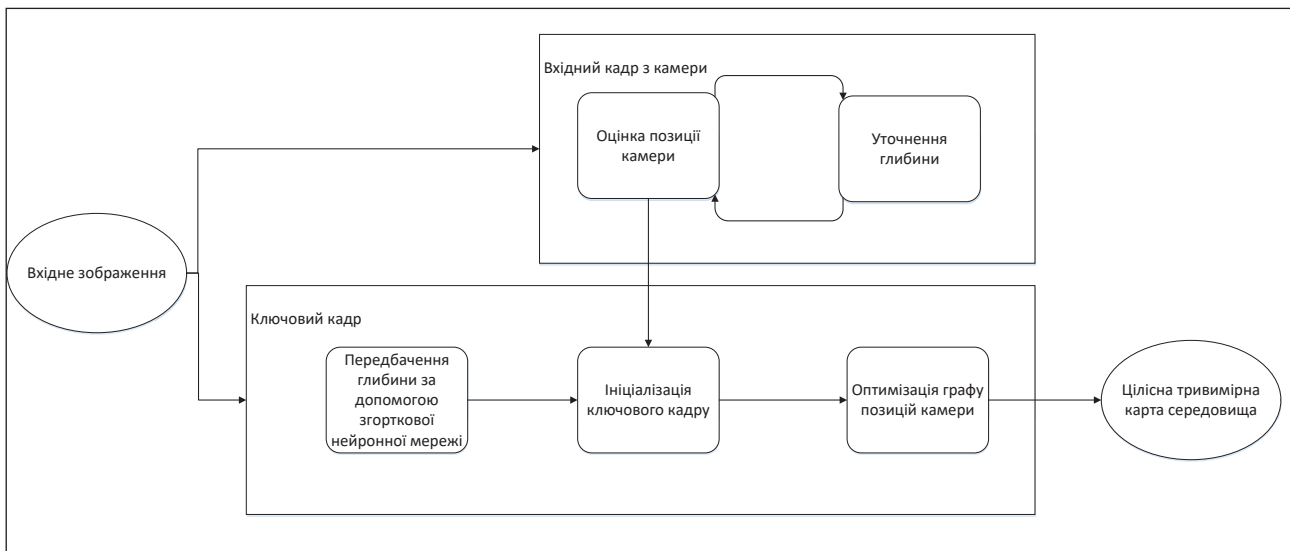


Рис. 1. Алгоритм CNN-SLAM

зображення  $I_t$  поточного кадру та інтенсивністю зображення  $I_{k_i}$  найближчого ключового кадру  $k_i$ , застосовуючи зважену оптимізацію Гауса-Ньютона, що базується на функції:

$$E(T_i^{k_i}) = \sum_{\tilde{u} \in \mathbb{C}} \rho \left( \frac{r(\tilde{u}, T_i^{k_i})}{\sigma(r(\tilde{u}, T_i^{k_i}))} \right)$$

Тут  $\rho$  – це норма Хьюбера та  $\sigma$  – це функціональний вимір залишкової невизначеності [17]. Фотометричний залишок  $r$  визначається на обмеженій підмножині пікселів, що лежать в областях великого градієнту кольору ( $\tilde{u} \subset u \in \mathbb{C}$ ) та визначається:

$$r(\tilde{u}, T_i^{k_i}) = I_{k_i}(\tilde{u}) - I_t(\text{Proj}(KT_i^{k_i}K^{-1}\tilde{u}D_{k_i}(\tilde{u})))$$

Маючи значення  $T_i^{k_i}$ , поточну позицію камери у світовій системі координат можна обчислити як  $T_t = T_i^{k_i}T_{k_i}$ . Далі граф позицій камери на ключових кадрах уточнюються за допомогою методів оптимізації графів [18].

Детектування параметризованих поверхонь у тривимірній карті середовища. Після отримання тривимірної карти середовища у вигляді щільної хмари точок, важливою задачею є розпізнавання твердотілих об'єктів, що може бути здійснена на основі сегментації певної сцени середовища. Цей процес полягає в розподілі хмари точок на підмножини, що відповідають чітким параметризованим моделям, таким як: лінії, площини, кола, циліндричні поверхні, сферичні поверхні, конічні поверхні.

Сегментація хмари точок здійснюється на основі даних про нормалі точок з хмари. Карта, отримана на етапі реконструкції містить лише сукупність точок  $p_i$ , для кожної з яких оцінка нормалі представляє собою аналіз власних векторів та власних значень коваріаційної матриці  $C$ , що враховує найближчих сусідів заданої точки:

$$C = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T, \quad C * \bar{v}_j = \lambda_j * \bar{v}_j, \quad j \in \{0, 1, 2\}$$

Тут  $k$  кількість сусідніх точок, що розміщені у деякому околі точки  $p$ ;  $\bar{p}$  – центроїд найближчих сусідів;  $\lambda_j$  є  $j$ -им власним значенням коваріаційної матриці, а  $\bar{v}_j$  – власним вектором. Отриманий вектор нормалі визначається:

$$\sigma = \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2}$$

Далі, на множині точок  $p_i$  та їх нормалей  $\sigma_i$  здійснюється сегментація з використанням методу RANSAC. Алгоритм знаходить різні параметричні моделі та представляє їх у формі класифікованої хмари точок, де всі точки відсегментовані у екземпляри моделей об'єктів, яким вони належать.

Обчислення позиції захоплення об'єкта. На основі цілісної щільної моделі об'єкта здійснюється планування захоплення. Для цього використано метод, що оцінює локальні властивості симетрії об'єкта [19]. Це може бути досягнуто шляхом обчислення серединної вісі, яка представляє тривимірний об'єкт як об'єднання куль. Дані симетрії, що містить серединна вісь, підлягають аналізу. Схему алгоритму представленого методу передбачення захоплення зображено на рис. 2.

Отримавши модель об'єкта довільної форми у вигляді хмари тривимірних точок, обчислюється серединна вісь за алгоритмом, представленим у [20]. Отриманий набір точок, що наближено утворюють серединну вісь, позначимо як  $\frac{42/22}{(-11-23)}$ .

Дані серединної вісі на проекційній площині  $\frac{28}{(-11-23)}$  представляємо як зважений повний граф та сегментуємо його на кластери  $c_i$ . Кожен утворений кластер  $c$  підлягає аналізу та відповідності певному типу серед наступних типів структур: коло, зірка з кільцем, дерево, елемент осі симетрії.

Генерування кандидатів на захоплення здійснюється з використанням набору евристик, що враховують отримані структури у частинах серединної вісі. Основний підхід полягає в розгляді кількох сусідніх площин  $C$  та отриманні перспективних цільових напрямків та кутів повороту руки для кожного типу кластерів.

### 3. Висновки

Показано, що інтеграція ОЛК системи з передбаченням карти глибини за допомогою глибокої нейронної мережі в систему розрахунку позиції руки робота для здійснення захоплення є багато-

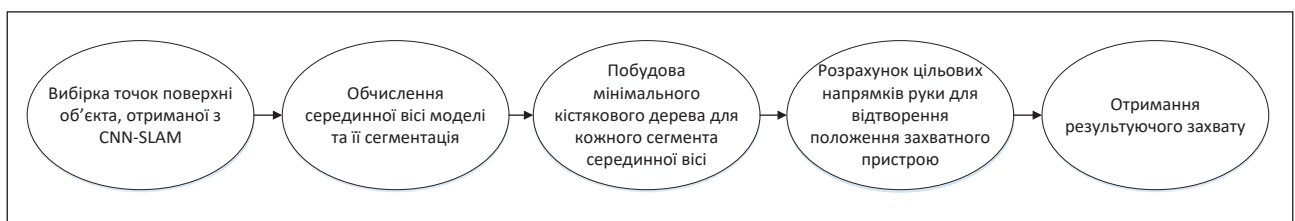


Рис. 2. Планування захоплення на основі серединної вісі моделі об'єкта



обіцяючим напрямком для вирішення проблем розрахунку положень захоплюючого пристрою. Зокрема, вона дозволяє зменшити залежність від типових обмежень традиційної реконструкції по зображенням з монокамери, особливо щодо оцінки абсолютного масштабу, отримання щільної карти глибини на малотекстурованих областях і на кадрах, що мають лише трансформацію повороту. Запропонований підхід до використання

уточнення карти глибини під час реконструкції навколишнього середовища долає ці проблеми, зберігаючи при цьому надійність і точність прямого монокулярного ОЛК. Загальна система здатна виконувати розрахунок положення захоплюючого пристрою на основі загальної реконструйованої сцени навколишнього середовища, її сегментації та виокремлення моделі цільового об'єкта.

### Список літератури:

1. Shademan, A., Decker, R., Opfermann, J. D., Leonard, S., Krieger, A., & Kim, P.C. "Supervised autonomous robotic soft tissue surgery", *Science Translational Medicine*, 8 (337), 2016
2. Sancho-Bru JL, Mora MC, Leon BE, Perez-Gonzalez A, Iserte JL, Morales A., "Grasp modeling with a biomechanical model of the hand", *Comput Methods Biomech Biomed Eng* 17(4):297-310, 2014.
3. Han, Yuexing, Bing Wang, Hideki Koike and Masanori Idesawa. "Object Recognition with a Limited Database Using Shape Space Theory." *Image Processing: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, 2013, pp.181-200.
4. Michael Laskey, Jeffrey Mahler, Zoe McCarthy, Florian T. Pokorny, Sachin Patil, "Multi-Armed Bandit Models for 2D Grasp Planning with Uncertainty.", *IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, 2015.
5. Ala R.K., Dong H.K., Shin S.Y., "A 3D-grasp synthesis algorithm to grasp unknown objects based on graspable boundary and convex segments", *Inf. Sci.* 295, 2015, pp.91-106.
6. Popovic M., Kraft D., Bodenhausen L., Baeski E., Pugeault N., Kragic D., Asfour T., Kruger N., "A strategy for grasping unknown object based on co-planarity and colour information", *Robot. Auton. Syst.* 58(5), 2010, pp.551-565.
7. M. Bonilla, D. Resasco, M. Gabiccini, and A. Bicchi, "Grasp Planning with Soft Hands using Bounding Box Object Decomposition", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Hamburg, Germany, pp. 498-503 (2015).
8. M. Bonilla, E. Farnioli, L. Pallottino, A. Bicchi, "Sample-Based Motion Planning for Robot Manipulators with Closed Kinematic Chains", *IEEE ICRA*, Seattle, Washington, USA (2015).
9. Tamim Asfour, Júlia Borrás, Christian Mandery, Peter Kaiser, Eren Erdal Aksoy, and Markus Grotz, "On the dualities between grasping and whole-body loco-manipulation tasks", *International Symposium on Robotics Research (ISRR)* (2016).
10. R. Pelossof, A. Miller, P. Allen, and T. Jebara, "An SVM Learning Approach to Robotic Grasping", in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004, pp. 3512–3518.
11. Huang, Bidan, Sahar El-Khoury, Miao Li, Joanna J. Bryson, and Aude Billard, "Learning a real time grasping strategy" In *IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, Karlsruhe, 2013, pp.593-600.
12. R. A. Newcombe, S. Lovegrove, and A. J. Davison. Dtm: Dense tracking and mapping in real-time. In *IEEE ICCV*, pages 2320–2327, 2011
13. J. Engel, T. Schps, and D. Cremers. LSD-SLAM: LargeScale Direct Monocular SLAM. In *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2014.
14. R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, and J. D. Tard. Orb-slam: A versatile and accurate monocular slam system. *IEEE Trans. Robotics*, 31(5):1147–1163, 2015.
15. D. Galvez-L'opez, M. Salas, J. D. Tard'os, and J. Montiel. Real-time monocular object slam. *Robot. Auton. Syst.*, 75(PB), jan 2016.
16. M. Mason. *Mechanics of Robotic Manipulation*. MIT Press, Cambridge, MA, 2016.
17. CNN-SLAM: Real-time dense monocular SLAM with learned depth prediction. K. Tateno, F. Tombari, I. Laina, N. Navab, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017.
18. R. Kuemmerle, G. Grisetti, H. Strasdat, K. Konolige, and W. Burgard. g2o: A General Framework for Graph Optimization. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2011.
19. M. Przybylski, T. Asfour, and R. Dillmann, "Unions of balls for shape approximation in robot grasping," in *2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct 2010, pp. 1592–1599.
20. J. E. Goodman and J. O'Rourke, "Handbook of Discrete and Computational Geometry, Second Edition", CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 2004.

### **ЗАХВАТ НЕИЗВЕСТНЫХ ОБЪЕКТОВ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*В статье охарактеризовано проблему захвата незнакомых объектов мобильным роботом, оснащенным одной камерой без дополнительных датчиков глубины. Определены основные свойства такой робототехнической системы. Рассмотрен метод получения плотной трехмерной модели объекта с карты среды на основе подхода одновременной локализации и картографирования, основанный на предвидении карты глубины в режиме реального времени с использованием сверточной нейронной сети. Полученная трехмерная модель применена в методе планирования устойчивого захвата объекта роботизированной рукой, который реализован на основе анализа свойств симметрии срединной оси модели объекта.*

**Ключевые слова:** захват объектов, мобильный робот, реконструкция среды, одновременная локализация и построение карты.

### **GRASPING OF NOVEL OBJECTS BY MOBILE ROBOT USING VISUAL PROCESSING**

*The article describes the problem of capturing unseen before objects by a mobile robot, equipped with one camera without additional depth sensors. The basic properties of such robot system are determined. The method of obtaining a dense three-dimensional model of an object from an environmental map based on the simultaneous localization and mapping approach based on the prediction of a real-time depth map using a convolutional neural network is considered. The obtained three-dimensional model is applied in the method of planning of stable grasp of an object rotated by the robotic hand, which uses analysis of the symmetry properties of the median axis of the object model.*

**Key words:** object grasping, mobile robot, environment reconstruction, simultaneous localization and mapping.

УДК 004.75

**Восводін Є.В.**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

**Авраменко В.С.**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

## ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОПОЛОГІЙ САМООРГАНІЗАЦІЙНИХ КАРТ КОХОНЕНА В СИСТЕМАХ ОРКЕСТРУВАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРІВ

*У статті описується метод розподілення динамічної послідовності віртуальних контейнерів з використанням самоорганізаційних карт Кохонена. Описаний метод дає змогу побудувати модель, яка базується на неявних зв'язках між віртуальними контейнерами та вузлами в кластері, таким чином в деяких випадках дозволяючи проводити балансування більш ефективно. Також у роботі розглядаються одновимірна топологія карти та топологія у вигляді квадратної матриці. Ефективність роботи методу, який базується на різних топологіях, перевіряється в ході проведення експериментів заповнення до першого відхилення та заповнення до повноти кластеру. Аналіз отриманих результатів показує позитивні та негативні сторони використання різних топологій, та виявляє, що ефективність розподілення залежить від структури карти. Описана методологія проведення експериментів може бути використана для дослідження кластерів та пошуку ефективної конфігурації карти Кохонена. Зроблені висновки можуть бути використанні для розробки нових, більш ефективних евристичних методів розподілення.*

**Ключові слова:** розподілення, балансування, самоорганізаційні карти Кохонена, штучні нейронні мережі, віртуалізація, контейнер, система оркестрування.

**Постановка проблеми.** Системи оркестрування віртуальних контейнерів (СОВК) займають важливу нішу в розподілених системах. Одиницею віртуалізації в СОВК є віртуальний контейнер (далі – контейнер). Контейнер – це легковагове, незалежне, виконавче середовище, що містить усе потрібне для виконання в ньому програми, включаючи код, бібліотеки, засоби розробки тощо. Контейнер описує ряд вимог, якими він має бути забезпечений для повноцінної роботи. У загальному випадку до таких вимог можна віднести кількість ядер центрального процесора та кількість оперативної пам'яті (ОП), потрібної йому для роботи. У залежності від конкретної СОВК, конфігурація контейнера може описувати набір додаткових вимог.

Однією із задач СОВК є забезпечення контролю повного життєвого циклу контейнерів у кластері. Створення контейнера є невід'ємною частиною його життєвого циклу. Процес створення включає в себе пошук вільного місця в кластері, так званого вузла, яке б задовольняло вимоги його конфігурації. Для виконання цієї задачі СОВК використовують різні стратегії розподілення.

Стратегія розподілення заповненням чи то стратегія розподілення поширенням є стандартними рішеннями для СОВК. Перевага першої полягає у використанні малої кількості вузлів, що зменшує потребу в додаткових апаратних ресурсах, але концентрація багатьох контейнерів на одному вузлі породжує низький рівень відмовостійкості [1]. У свою чергу, більш високий рівень відмовостійкості досягається з використанням стратегії розподілення поширенням, за рахунок розміщення контейнерів на вільних вузлах. Однак такий підхід виливається в проблему простою вільних апаратних ресурсів. У результаті того, що стратегії не аналізують динамічну послідовність, з'являються випадки в яких балансування здійснюється неефективно. Це негативно впливає на СОВК та змушує систему приймати критичне рішення відносно запиту балансування, зокрема: не приймати нових запитів, затримати запит до появи апаратних ресурсів, створити новий вузол з подальшим запуском контейнера на ньому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблеми використання існуючих методів у своїй роботі описує Є.В. Восводін [2]. Автор

порівнює між собою методи розподілення заповненням і розподілення поширенням, наводячи їхні переваги та недоліки. У ході порівняння автор демонструє за яких умов стратегії здійснюють неефективне балансування. Окрім цього, в роботі описується можлива поведінка СОВК у критичних випадках. Серед потенційних способів покращення процесу балансування автор виділяє евристичні методи, зокрема самоорганізаційні карти Кохонена (СКК) [3].

У своїй іншій роботі Є.В. Воєводін описує, як можна використати СКК для реалізації евристичної стратегії балансування контейнерів [4]. Також автор проводить ряд експериментів, які показують, для яких динамічних послідовностей можна добитися більш ефективних результатів ніж з використанням стандартних стратегій. Так, наприклад, динамічну послідовність контейнерів з вимогами до оперативної пам'яті 1 Гб, 3 Гб, 4 Гб, 3 Гб, 5 Гб ні стратегія розподілення заповненням, ні стратегія розподілення поширенням не може розподілити повністю на трьох вузлах місткістю 6 Гб, тоді коли стратегія з використанням СКК успішно справляється з цією задачею.

Різні структури СКК та їхній вплив на поведінку карти описують в своїй роботі Ф. Джанг та інші [5]. Проаналізувавши різні топології СКК, автори експериментально доводять, що ефективність роботи карт можна підвищити близько на 10% за рахунок оптимізації їхньої структури.

**Метою статті** є опис, експериментальна перевірка та порівняння ефективності різних топологій СКК для балансування динамічної послідовності контейнерів.

#### Основні результати дослідження.

У даному дослідженні для вирішення задачі розподілення динамічної послідовності контейнерів використовується СКК. СКК – це штучна нейронна мережа, яка навчається без учителя. СКК дають змогу відображати простір більшого виміру в простір меншого виміру, зберігаючи топологічні властивості вхідного простору. СКК є відображенням динамічної послідовності контейнерів в одновимірний простір вузлів. Таке відображення дозволяє формувати групи схожих за вимогами контейнерів на основі неявних залежностей. Опишемо основні етапи роботи алгоритму СКК та стратегії розподілення.

Етап перший – ініціалізація вагових коефіцієнтів  $\bar{w}^{(j)}$ . Ініціалізувати вагові коефіцієнти СКК можна по-різному. У даному дослідженні буде використовуватись ініціалізація значеннями випадково обраними із векторів вхідних даних.

Якщо множина вхідних даних більша ніж розмір карти, то має сенс у ході вибору випадкових векторів розбити всю множину на стільки відрізків, скільки нейронів у карті та взяти кожний такий вектор, який знаходиться в середині якогось із отриманих відрізків.

Етап другий – змагання. У ході змагання знаходиться відстань від вхідного вектору до кожного з нейронів. В якості функції пошуку відстані, в межах даної роботи, буде використовуватись Евклідова відстань. Тоді відстань до нейрона переможця можна виразити наступним чином:

$$\bar{x}(t) - \bar{w}^{(c)}(t) = \min_{j \in \{1, \dots, M\}} \{ \bar{x}(t) - \bar{w}^{(j)}(t) \},$$

де  $c$  – це індекс нейрона переможця;  $t$  – номер ітерації;  $\bar{x}(t)$  – вектор вхідних даних на ітерації  $t$ ;  $\bar{w}^{(j)}(t)$  – вектор вагових коефіцієнтів для нейрона з індексом  $j$  на ітерації  $t$ ;  $M$  – кількість нейронів у СКК. Нейрон переможець – це нейрон, який знаходиться найближче до вхідного вектору.

Етап третій – кооперація. У ході третього етапу потрібно знайти топологічну околицю навколо нейрона переможця, тобто знайти нейрони чії вагові коефіцієнти потрібно адаптувати до вхідних даних. Позначимо функцію сусідства між нейронами, як  $h_{cj}(t)$ . В якості функції впливу буде використовуватись функція впливу Гауса:

$$h_{cj}(t) = e^{-\frac{d^2}{2\sigma(t)^2}}, \quad (1)$$

де  $\sigma(t)$  – це функція визначення топологічної околиці, в якості якої можна використати функцію експоненціального розпаду [6]:

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2)$$

де  $\sigma_0 = const$  – початкова ширина топологічної околиці;  $t$  – номер ітерації;  $T$  – загальна кількість ітерацій. У свою чергу  $d$  – це відстань між нейронами,  $d = ne_c - ne_j$ , де  $ne_c$  – позиція нейрона переможця;  $ne_j$  – позиція нейрона, що пробуджується. Функція Гауса надає можливість змінювати вагові коефіцієнти нейронів по-різному. Чим далі цільовий нейрон від нейрона переможця, тим слабше він адаптується до вхідних даних, окрім цього зі збільшенням ітерації зменшується топологічна околиця.

Етап четвертий – адаптація. У ході адаптації значення вагових коефіцієнтів СКК змінюються в напрямку вхідного вектору. Корегування вагових коефіцієнтів здійснюється за формулою:

$$\bar{w}^{(j)}(t+1) = \bar{w}^{(j)}(t) + \alpha(t) h_{cj}(t) [\bar{x}(t) - \bar{w}^{(j)}(t)],$$

де  $\alpha(t)$  – функція швидкості навчання, яка в також дозволяє керувати інтенсивністю адаптації вагових коефіцієнтів на відповідній ітерації. В якості такої функції, як і у випадку з функцією

Гауса (1), можна використати експоненціальну функцію розпаду, але дещо з іншими параметрами:

$$\alpha(t) = a_0 e^{-\frac{t}{n}}$$

де  $a_0 = const$  – початкове значення швидкості;  $n = const$  – дозволяє контролювати, як швидко зменшується значення функції;  $t$  – це номер ітерації.

Процес навчання СКК здійснюється за  $T$  ітерацій, де на кожній наступній ітерації з вибірки обирається випадковий вхідний вектор  $\vec{x}$ , та проходять вищеописані етапи – змагання, кооперації та адаптації.

Для проведення експерименту була реалізована стратегія балансування в *COBK Docker Swarm*. Реалізація складається з двох основних частин. Перша – ініціалізація стратегії, в ході ініціалізації здійснюється конфігурація та навчання СКК на основі попередньо вказаної множини конфігурацій. Друга – розподілення контейнерів. Для розподілення одного контейнеру потрібно зробити наступне:

1. Перетворити конфігурацію контейнера у вектор вхідних даних.
2. Знайти вектор відстаней, так само як і на етапі змагання.
3. Відсортувати послідовність вузлів за значеннями векторів відстаней.
4. З отриманої послідовності виключити всі вузли, які не задовольняють вимоги конфігурації.
5. Якщо після вилучення не залишається вузлів, то відхилити запит балансування, в іншому ж випадку – помістити контейнер на першому вільному вузлі.

У ході експерименту використовується генератор псевдо-випадкових конфігурацій (ГПВК),

який дає змогу отримувати динамічні послідовності конфігурацій контейнерів за попередньо заданих вимог та обмежень. У контексті даного дослідження використовуються експериментальні вимоги, описані в таблиці 1.

Таблиця 1

Класифікація	Ймовірність	Опис вимог
Низькі вимоги	50%	[ОП 1], [ОП 2], [ОП 3]
Середні вимоги	30%	[ОП 4], [ОП 5], [ОП 6]
Високі вимоги	20%	[ОП 8], [ОП 16]

Динамічна послідовність формується за допомогою значень, які генерує ГПВК. Спочатку ГПВК обирає якусь конкретну класифікацію, керуючись ймовірностями описаними в заданій таблиці, далі з описаної множини вимог (конфігурацій) обирається випадкове значення, яке, при потребі, стає наступним елементом динамічного ряду.

Досліджуватись будуть дві різних топології. Перша – одновимірна (рис. 1. а), при використанні якої в СКК окрім шару вхідних даних присутній всього один шар нейронів. Кількість нейронів рівна кількості вузлів в кластері. Друга – квадратна матриця (рис. 1. б). Кількість елементів у матриці становить  $N^2$ , де  $N$  можна порахувати як:

$$N = g(\sqrt{c}); g(x) = \begin{cases} x, & x = x \\ x + 1, & x \neq x \end{cases}$$

де  $c$  – розмір кластеру;  $x$  – оператор “підлоги”,  $x = \max\{m \in \mathbb{Z} | m \leq x\}$ . Таким чином, матриця є такого мінімального розміру, щоб можна було вмістити всі вузли кластера.

Перший експеримент полягає в тому, щоб здійснювати паралельну упаковку до першого відхилення запиту. Експеримент проводиться для

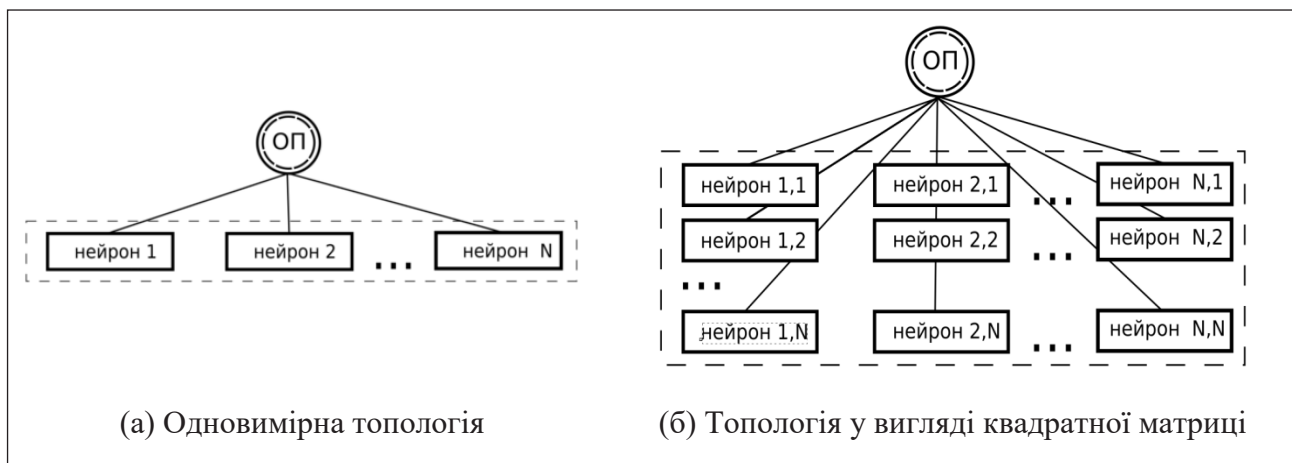


Рис. 1. Топології СКК

декількох стратегій паралельно, при цьому використовується одна й та ж динамічна послідовність конфігурацій контейнерів. Під відхиленням запиту мається на увазі ситуація, коли стратегія не може розподілити наступну конфігурацію в динамічному ряді, оскільки в кластері просто немає вузла який відповідає її вимогам. Експеримент проводиться 10000 разів для кожної розмірності кластеру. Експеримент дозволяє визначити, для

якої кількості динамічних послідовностей контейнерів одна стратегія була більш ефективною за іншу, тобто частіше розподіляла більше контейнерів. Місткість одного вузла становить 16 Гб, експериментальна початкова ширина топологічної околиці (2)  $\sigma_0 = 4$ . З графіку (рис. 2) видно, що з ростом кількості вузлів в кластері змінюється тенденція ефективності. По-перше, для розмірності кластеру в 10 вузлів, як стратегія, що базу-

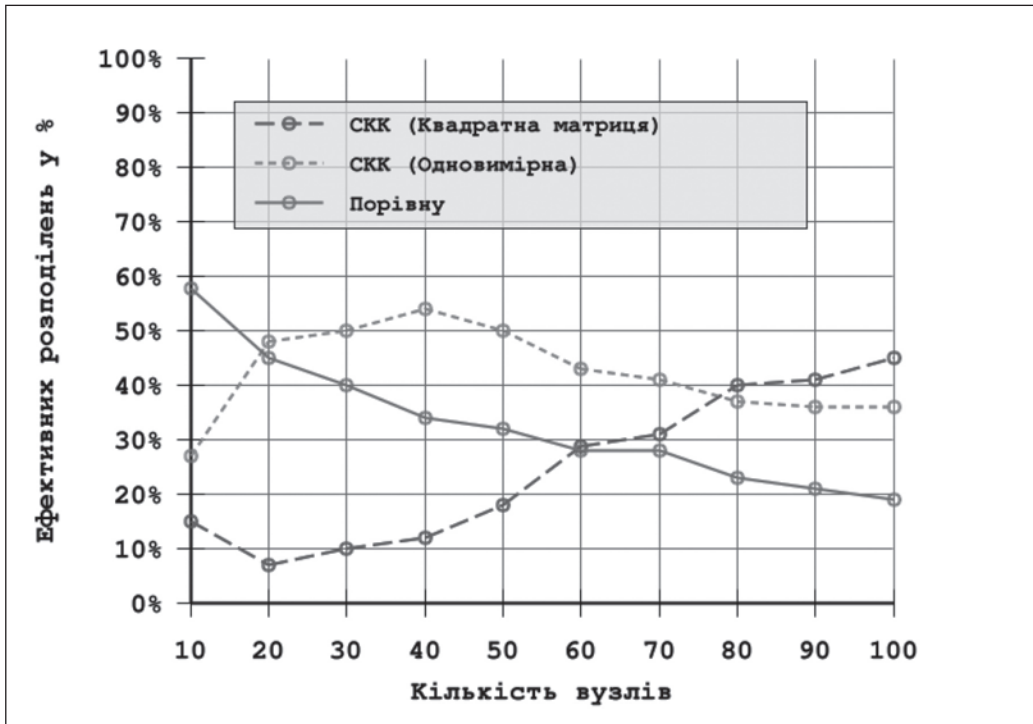


Рис. 2. Градація ефективності різних топологій СКК

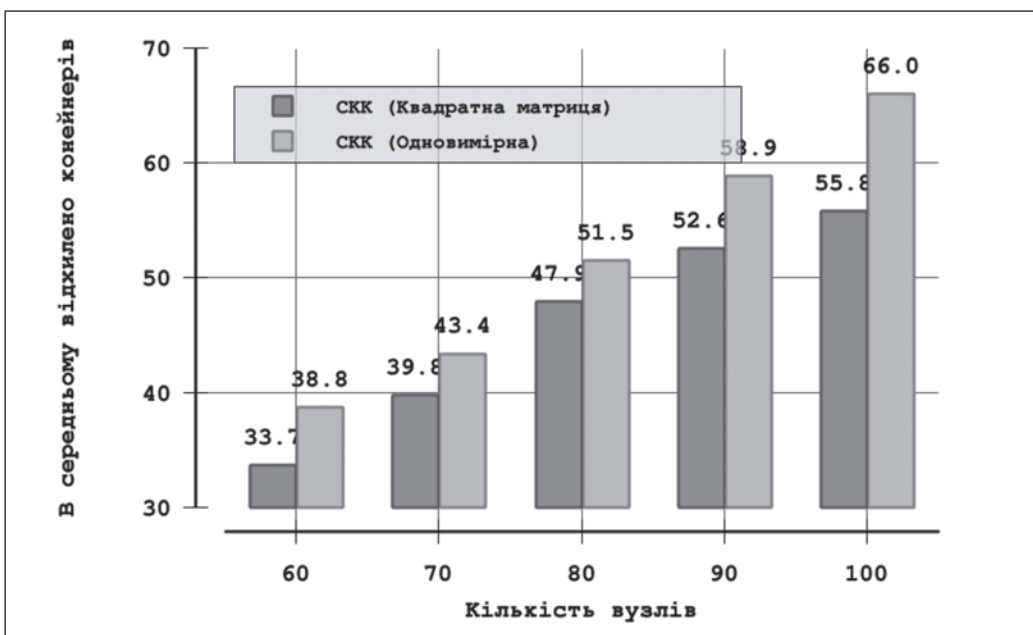


Рис. 3. Діаграма кількості відхилень для різних топологій

ється на одновимірній топології, так і стратегія, що базується на топології квадратної матриці, в більшості випадків (60%) є однаково ефективними. Чим більше в кластері вузлів, тим меншим є значення порівну заповнених спроб.

По-друге, одновимірна структура дозволяє досягти більшої ефективності для кластерів малого та середнього розміру, тоді як СКК з

топологією квадратної матриці дозволяє досягти більшої ефективності для кластерів більшої розмірності. При зміні вмісту одного вузла до 32 Гб, результат є ідентичним до попереднього, окрім незначних відхилень.

Для такої ж конфігурації проведемо експеримент упаковки до повноти кластеру. Суть експерименту в тому, щоб продовжувати розподілення

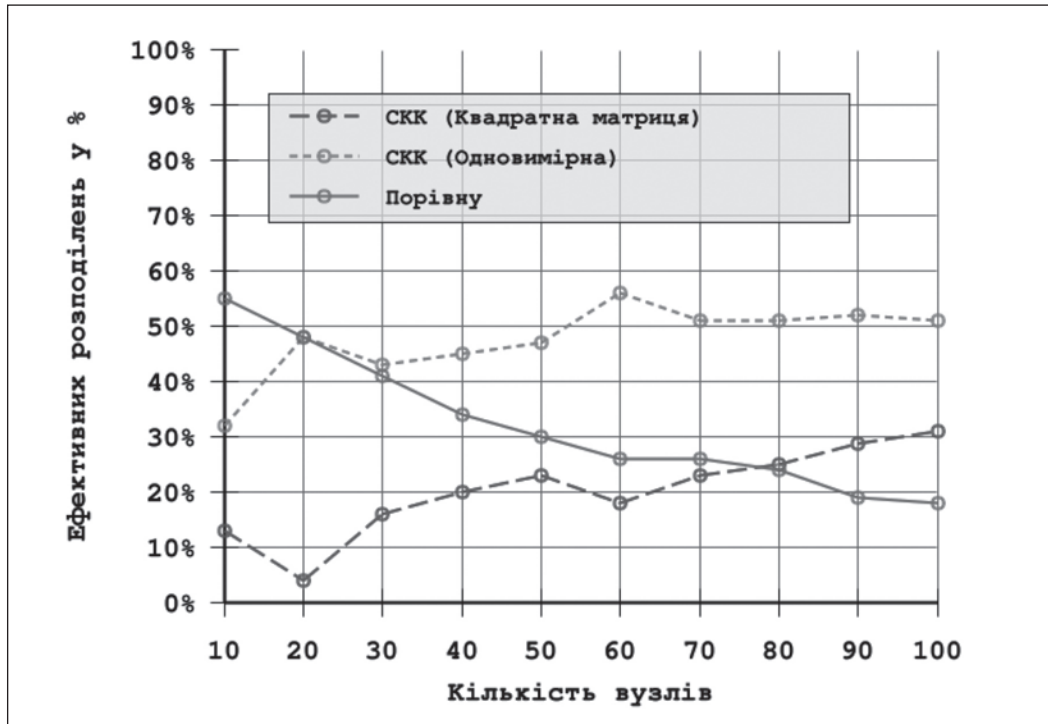


Рис. 4. Градація ефективності різних топологій СКК з динамічним ростом  $\sigma_0$

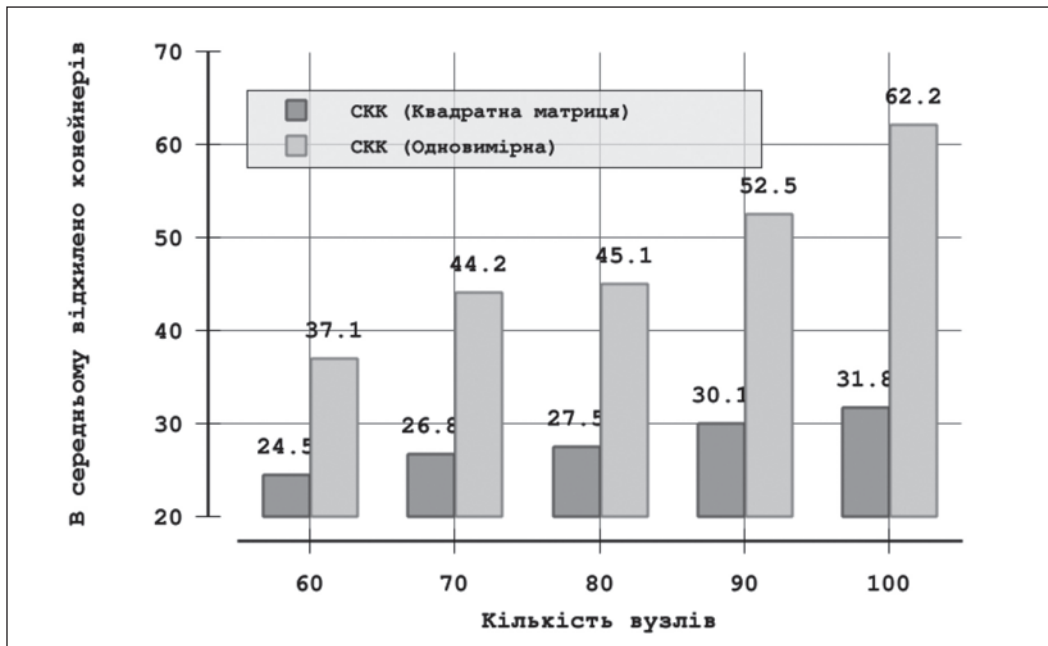


Рис. 5. Діаграма кількості відхилень для різних топологій СКК з динамічним ростом  $\sigma_0$

ресурсів до тих пір, поки всі ресурси кластеру не будуть повністю використані. Якщо з використанням стратегії на основі якоїсь із топологій СКК вдається повністю запакувати кластер, то стратегія перестає брати участь у балансуванні, та очікує, поки ця ж умова буде правдива і для іншої. У результаті експерименту можна перевірити, яке в середньому значення контейнерів вдається розподілити з використанням різних структур СКК, а також яку середню кількість контейнерів було відхилено, до поки кластер не є повністю заповнений. У результаті середня кількість створених контейнерів обома стратегіями суттєво не відрізняється, однак увагу привертає кількість відхилень для кластерів середніх та великих розмірів. З діаграми (рис. 3) видно, що середня кількість відхилень, здійснених при використанні одновимірної топології, значно збільшується.

Спробуємо прив'язати розмірність кластера до початкового значення ширини топологічної околиці функції Гауса (1). Таким чином, візьмемо, наприклад, значення топологічної околиці з попереднього експерименту  $\sigma_0 = 4$ , та величину кластера в 10 вузлів, оскільки в даній точці стратегії є однаково ефективними. Тоді залежністю для початкового значення топологічної околиці (2) буде  $\sigma_0 = 0.4c$ , де  $c$  – кількість вузлів в кластері. Проведемо експеримент упаковки до першого відхилення для кластеру різної розмірності з вузлами місткістю 16 Гб (рис. 4).

У загальному випадку тенденція росту змінюється лише для одновимірної топології. На всьому проміжку вузлів балансування з використанням одновимірної топології є більш ефективним. Збільшення розмірності одного вузла вдвічі, як і в попередньому випадку не приводить до зміни результатів.

Провівши експеримент заповнення до повноти кластера для такої ж конфігурації, можна підмітити, що середнє значення кількості створених контейнерів суттєво не відрізняється від варі-

ації топології. Однак кількість відхилень здійснених стратегією з використанням топології квадратної матриці значно зменшилась (рис. 5). Так, для 100 вузлів кількість відхилень при використанні одновимірної топології є майже в два рази більшою, ніж при використанні квадратної матриці.

**Висновки та пропозиції.** У ході дослідження було описано основні етапи роботи СКК, алгоритму балансування динамічної послідовності контейнерів з використанням карт та двох топологій: одновимірної та квадратної матриці. У ході експерименту заповнення до першого відхилення було виявлено, що для кластерів невеликої розмірності використання різних структур є однаково ефективним. Для кластерів середньої розмірності використання одновимірної топології показує кращі результати. У випадку кластерів великої розмірності максимальної ефективності вдається досягти з використанням топології квадратної матриці, коли ширина топологічної околиці є сталим значенням. І навпаки, при використанні залежності початкового значення ширини топологічної околиці від кількості вузлів в кластері – більш ефективною є використання одновимірної топології. Водночас у ході проведення експерименту упаковки до повноти кластеру було виявлено, що кількість створених контейнерів для різних структур є в більшості випадків однаковою з незначним відхиленням. Тоді коли кількість відхилень для кластерів середнього та великого розміру є значно меншою при використанні топології квадратної матриці.

У результаті дослідження можна стверджувати, що топологія карти впливає на ефективність стратегії розподілення динамічної послідовності контейнерів, яка базується на СКК.

Для покращення ефективності алгоритму роботи СКК є сенс провести аналіз груп, які утворилися в ході навчання карти, та дослідити процес явної конфігурації вузлів у місцях групування.

#### Список літератури:

1. Таненбаум Э., Стеен М. Распределенные системы принципы и парадигмы. Санкт-Петербург, 2003. 877 с.
2. Воєводін Є.В. Проблеми сучасних методів розподілення динамічної послідовності ресурсів у системах оркестрування віртуальних контейнерів. Науковий журнал «Альманах науки». 2017. № 4. С. 54–58.
3. Хайкин С. Нейронные сети полный курс. Москва, 2006. 1104 с.
4. Воєводін Є.В. Використання самоорганізаційних карт Кохонена для балансування динамічної послідовності ресурсів у системах оркестрування віртуальних контейнерів. Науковий журнал «Альманах науки». 2017. №5. С. 45–50.
5. Jiang F., Berry H., Schoenauer M. The Impact of Network Topology on Self-Organizing Maps. URL: [http://www.inrialpes.fr/Berry/Images/GEC09\\_EVVON](http://www.inrialpes.fr/Berry/Images/GEC09_EVVON) (дата звернення: 05.02.2018).
6. Hasan S., Shamsuddin S. Multistrategy Self-Organizing Map Learning for Classification Problems. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3157650> (дата звернення: 05.02.2018).



## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПОЛОГИЙ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА В СИСТЕМАХ ОРКЕСТРАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

*В статье описывается метод распределения динамической последовательности виртуальных контейнеров с использованием самоорганизующихся карт Кохонена. Описанный метод позволяет построить модель, основанную на неявных связях между виртуальными контейнерами и узлами в кластере, таким образом в некоторых случаях позволяя производить балансировку более эффективно. Также в работе рассматриваются одномерная топология карты и топология в виде квадратной матрицы. Эффективность работы метода, основанного на различных топологиях, тестируется в ходе проведения экспериментов заполнения к первому отклонению и заполнения к полноте кластера. Анализ полученных результатов показывает положительные и отрицательные стороны использования различных топологий, а также что эффективность распределения зависит от структуры карты. Описанная методология проведения экспериментов может быть использована для исследования кластеров и поиска эффективной конфигурации карты Кохонена. Сделанные выводы могут быть использованы для разработки новых, более эффективных эвристических методов распределения.*

**Ключевые слова:** распределение, балансирование, самоорганизующиеся карты Кохонена, искусственные нейронные сети, виртуализация, контейнер, система оркестрации.

## COMPARING EFFICIENCY OF DIFFERENT SELF-ORGANIZING KOHONEN MAP TOPOLOGIES IN VIRTUAL CONTAINERS ORCHESTRATION SYSTEMS

*The article describes a method for distributing a dynamic sequence of virtual containers using self-organizing Kohonen maps. The described method makes it possible to construct a model based on implicit connections between virtual containers and nodes in a cluster; thus allowing more efficient balancing. The paper also covers one-dimensional self-organizing map topology and topology in the form of a square matrix. The effectiveness of a method based on different topologies is checked within experiments, which are packing until first rejection and packing until cluster is completely full. The analysis of the results shows the positive and negative aspects of using different topologies, and finds that the distribution efficiency depends on the structure of the map. The described methodology for conducting experiments can be used to find an effective configuration of the Kohonen map and its topology in case of resources distribution. The findings can be used to develop a new, more efficient heuristic distribution methods.*

**Key words:** distribution, balancing, self-organizing Kohonen map, artificial neural networks, virtualization, container, orchestration system.

УДК 007.51:004.5

**Войтович О.П.**

Вінницький національний технічний університет

**Дудатьєв А.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Головенько В.О.**

Вінницький національний технічний університет

## МОДЕЛІ ТА ЗАСІБ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ ОБЛІКОВИХ ЗАПИСІВ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

*У статті запропоновано метрики ознак фейкових облікових записів у соціальних мережах. Розроблені структурні моделі, що дозволяють виявити фейкові облікові записи у соціальній мережі. На основі запропонованих моделей та використанні рейтингових оцінок розроблено систему підтримки прийняття рішень при виявленні фейкових облікових записів. Результати експериментальних досліджень показали достовірність прийняття рішення близько 0,8.*

**Ключові слова:** *фейкові облікові записи, соціальні мережі, кібербезпека, інформаційні війни, рейтингові оцінки.*

**Постановка проблеми.** Соціальні мережі є специфічною ареною проведення спеціальних інформаційних операцій, зокрема інформаційно-психологічних операцій, що спрямовуються на суспільство [1; 2]. Сотні мільйонів людей по всьому світу вже активно користуються соціальними мережами для спілкування, перегляду новин тощо, проте велика частка користувачів використовують соціальні мережі як інструмент маніпуляції індивідуальною та суспільною свідомістю за допомогою інформаційних вкидів [1]. Для цього вони використовують фейкові облікові записи, на яких відсутня або міститься неправдива інформація про користувача. Незалежно від конкретних цілей тих, хто створює фейкові облікові записи, їх використання спрямоване, як правило, на зміну суспільної думки в тій чи іншій формі.

**Аналіз досліджень.** Фейковий обліковий запис (фейк) – це обліковий запис у соціальній мережі з неправдивою інформацією про користувача, власника даної сторінки.

Використовувати фейковий профіль можна як із легальних причин (наприклад для продажу товарів у соціальних мережах тощо) [3], так і зі зловмисною метою (шахрайства, маніпуляції, заборонений контент тощо) [3].

Метою підроблених (фейкових) облікових записів в інформаційних війнах є введення в оману інших користувачів, маніпулювання їхньою

поведінкою, причому Інтернет дає можливість здійснювати таке маніпулювання суспільством в цілому [4], і фейкові облікові записи, стали використовуватись як джерело інформаційно-психологічних операцій в інформаційній війні [5].

У задачі аналізу контенту в рамках протидії інформаційній війні важливо те, що певний обліковий запис розповсюджує певний контент (генує репости, лайки, коментарі) за бажанням або за винагороду. Також існують спеціальні біржі облікових записів, де предметом продажу є готовий обліковий запис з потрібними замовнику параметрами. Виконавці створюють фейковий обліковий запис, наповнюють його контентом, заповнюють його, створюючи ілюзію великого числа друзів, високої активності, входження в потрібні групи тощо. Після цього налаштовують обліковий запис під вимоги замовника (соціальні особливості, переваги, стиль поведінки) і продають замовнику, який вже використовує такі фейкові облікові записи на свій розсуд [6].

Але формалізованих моделей, на базі яких можна розробити інструментарій для аналізу облікових записів, не існує, тому дослідження в цьому напрямку є актуальними.

**Постановка завдання.** Відповідно метою статті є розробка моделей та засобу для дослідження метрик облікових записів користувачів у соціальній мережі Facebook та створення системи

підтримки прийняття рішень при визначенні фейкових облікових записів у соціальній мережі. Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі: проаналізувати існуючих підходів аналізу облікових записів, розробити структурні моделі ознак фейкових облікових записів, на основі яких розроблено програму автоматизації перевірки облікових записів.

**Метрики облікових записів у соціальній мережі.** Дослідження показали [5; 7–11], що можна виділити такі основні категорії ознак фейкових облікових записів: лайки, персональні дані, статуси та посилання, друзі, фото, дата народження.

*Лайки (LIKES)* за ознаками можна поділити на їх кількість (*QUANTITY*) та хто їх залишив на сторінці користувача (*FROM*). У свою чергу, залишити лайки можуть як друзі (*Friends*), так і незнайомці (*Strangers*). Для визначення фейковості профілю також має значення кількість лайків (*NumberOfLikes*). Якщо в користувача під певним постом кількість лайків більша за кількість його друзів (*NumberOfFriends*), це може свідчити про те, що користувач отримав ці лайки незвичним шляхом. Відсутність лайків (*NumberOfLikes = 0*) на сторінці вказує на «ізоляцію» користувача, що також може свідчити про його фейковість. Структурна модель метрик у категорії «Лайки» показана на рис. 1.

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Лайки» можна записати у вигляді кортежів:

LIKES = {FROM; QUANTITY}  
 FROM = {friends; strangers}  
 QUANTITY = {NumberOfLikes = 0;  
 NumberOfLikes < NumberOfFriends;  
 NumberOfLikes > NumberOfFriends}

*Персональна інформація на сторінці користувача (PERSONAL INFORMATION ABOUT USER)* [8] може сказати чимало про фейковість

або справжність профілю. Для подальшого аналізу персональну інформацію можна поділити на ім'я користувача (*USER'S NAME*), кількість інформації (*QUANTITY OF INFORMATION*), суперечливу інформацію (*CONTRADICTORY INFORMATION*) та приватну інформацію (*PRIVATE INFORMATION*).

Ім'я користувача дослідити важко, оскільки існує чимало людей з таким самим ім'ям та прізвищем. Проте варто перевірити ім'я на предмет його співпадіння з ім'ям видатної людини (*IsCelebrityName*). Також слід звернути увагу на те, чи належить ім'я користувача (*UserNameCountry*) до типових імен країни цього користувача (*UserCountry*).

Відсутність персональної інформації у профілі (*InfoAboutUser*), незначна інформація про інтереси (*NumberOfInterests*) та групи користувача (*NumberOfGroups*) свідчить про те, що користувач не хоче, щоб його могли ідентифікувати інші користувачі, а отже це теж є ознакою фейковості.

Суперечливість інформації на сторінці є одним з найбільш достовірних показників фейковості, проте і потребує складного аналізу. Наприклад, інформація в постах користувача (*PostsInfo*) не відповідає інформації, зазначеній у профілі (*InfoAboutProfile*), або користувач знаходиться у групах (*InfoAboutGroups*), які не відповідають його зазначеним інтересам (*InfoAboutInterests*).

До персональної інформації відносять електронну пошту (*IsMailExist*) та номер мобільного телефону (*IsPhoneExist*). Користувачі рідко виставляють таку інформацію у відкритий доступ, на відміну від фейкових облікових записів та спеціально створених рекламних профілів.

Структурна модель метрик у категорії «Персональна інформація про користувача» показана на рис. 2.

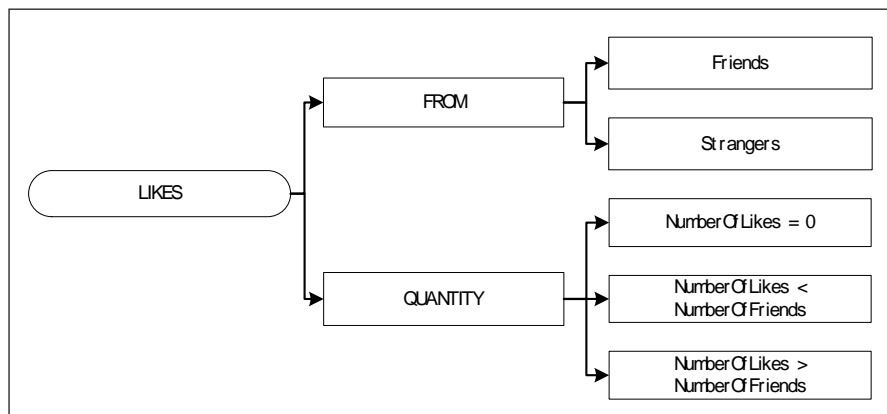


Рис. 1. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Лайки»

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Персональна інформація про користувача» можна записати у вигляді кортежів:

```
PERSONAL INFORMATION ABOUT USER =
{USER NAME; NUMBER OF INFORMATION;
CONTRADICTIONARY INFORMATION; PRIVATE
INFORMATION}
USER NAME = {IsCelebrityName;
UserNameCountry/UserCountry}
NUMBER OF INFORMATION = {InfoAboutUser;
NumberOfInterests; NumberOfGroups}
CONTRADICTIONARY INFORMATION =
{PlaceOfStudy/PlaceOfBorn; PlaceOfWork/
PlaceOfBorn; ProfileInfo/PostsInfoAboutUser;
InfoAboutGroups/InfoAboutInterests; PostsInfo/
InfoAboutInterests}
PRIVATE INFORMATION = {isPhoneExists;
isEmailExists}
```

Статуси та пости (*STATUSES AND POSTS ON PAGE*) на сторінці користувача аналізуються як одне ціле, оскільки вони відрізняються лише розміщенням у профілі. Їх можна аналізувати за такими ознаками: за частотою редагування/додавання (*UPDATES*) та за коментарями (*COMMENTS*). Статуси та пости іноді використовуються у якості реклами (*Advertising*) [9].

Частота редагування/додавання постів та статусів (*UpdateFrequency*) вказує на активність користувача. Якщо пости/статуси додаються рідко або дуже часто – це є однією з ознак фейковості. Якщо користувач давно додав пост/статус і протягом тривалого часу не оновлює, існує імовірність того, що цей обліковий запис є фейковим.

Кількість коментарів (*QUANTITY*) також вказує на активність самого профілю. Їх відсутність або надмірна кількість найчастіше буває саме у фейків. Коментарі можуть залишити (*FROM*) як друзі користувача (*Friends*), так і незнайомці (*Strangers*).

Структурна модель метрик у категорії «Статуси та пости» показана на рис. 3.

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Статуси та пости» можна записати у вигляді кортежів:

```
STATUSANDPOSTS ON PAGE = {POSTS;
STATUSES}
POSTS = {Advertising; UPDATES; COMMENTS}
STATUSES = {Advertising; UPDATES;
COMMENTS}
UPDATES = {UpdateFrequency; NumberOfPosts}
COMMENTS = {QUANTITY; FROM}
UANTITY = {NumberOfComments}
```

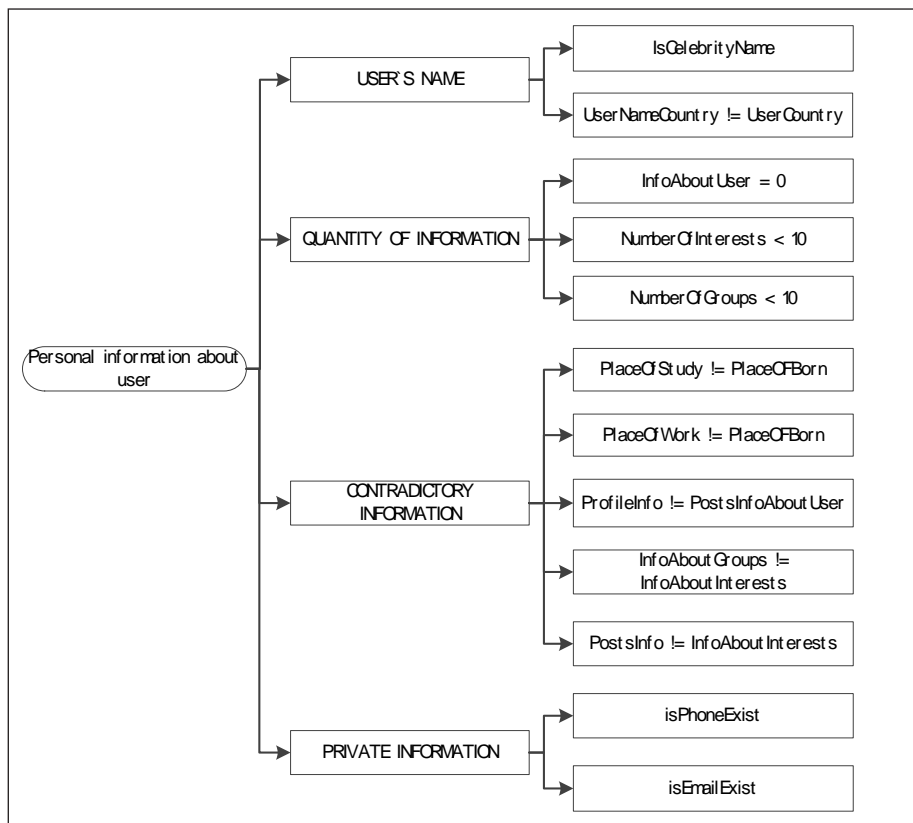


Рис. 2. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Персональна інформація про користувача»

NumberOfComments / NumberOfFriends}  
 FROM = {Friends; Strangers}

Друзі користувача (*FRIENDS*) грають доволі значну роль у визначенні фейка, оскільки вони вказують як на активність профілю в соціальній мережі, так і на коло інтересів користувача [10].

Залежність фейковості від кількості друзів (*QUANTITY*) користувача проаналізувати важко, тому що для того, щоб зробити висновок про фейковість, необхідно аналізувати самих друзів. Наприклад, якщо в списку друзів користувача є фейки (*IsFriendFake*), є імовірність, що і сам користувач – фейк. Якщо користувач не має друзів (*NumberOfFriends = 0*), існує велика імовірність,

що його профіль використовується не для спілкування, а для інших цілей. Велика кількість друзів (*Max(NumberOfFriends)*) за короткий проміжок часу (*Min(timeline)*) після створення профілю також викликає підозри, тому, скоріше за все, такий профіль є фейковим. Структурна модель метрик у категорії «Друзі» показана на рис.4.

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Друзі» можна записати у вигляді кортежів:

FRIENDS = {QUANTITY;  
 INFORMATIONABOUTFRIENDS}  
 QUANTITY = {NumberOfLikes;  
 NumberOfFriends; NumberOfLikes/  
 NumberOfFriends; Max(NumberOfFriends);

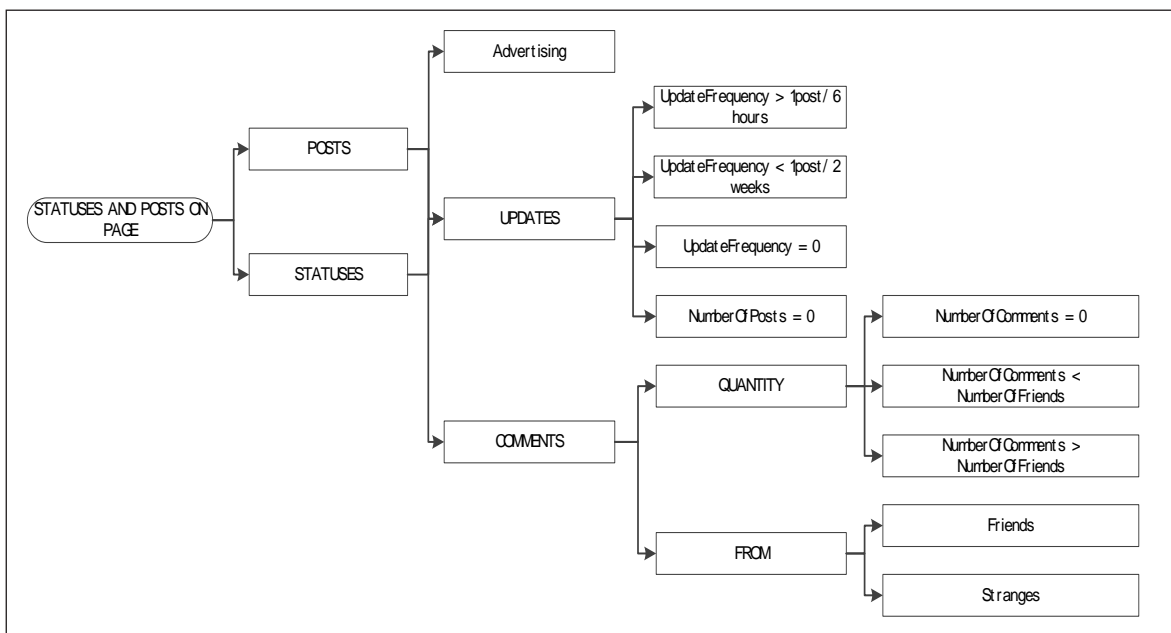


Рис. 3. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Статуси та пости»

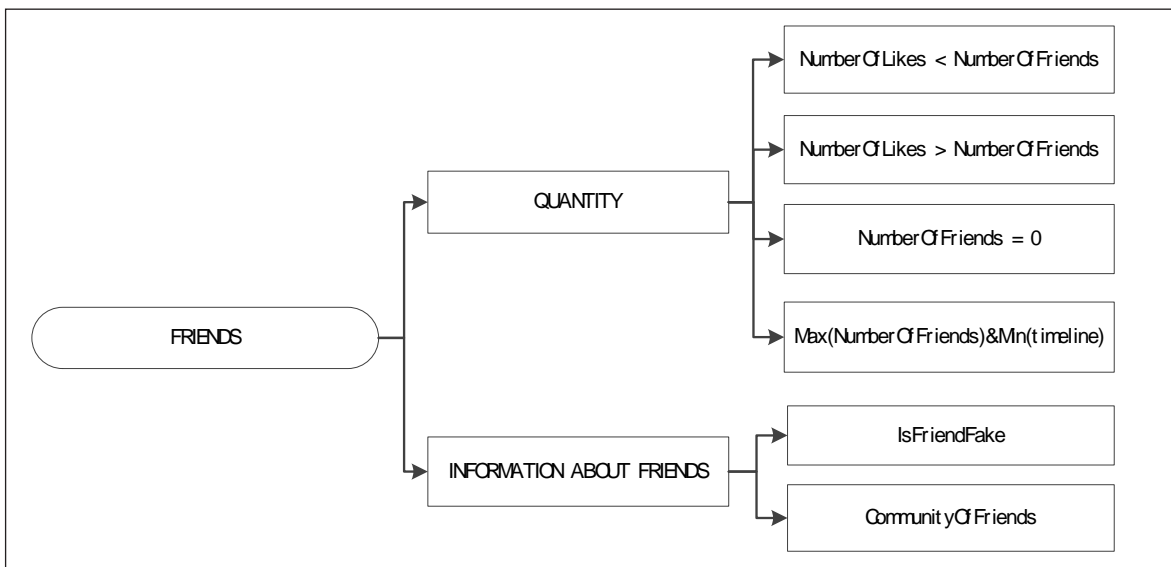


Рис. 4. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Друзі»

Min(timeline)}  
 INFO ABOUT FRIENDS = {IsFriendFake;  
 CommunityOfFriends}

Аналіз *фотографій користувача (PHOTO)* відіграє найважливішу і, водночас, найважчу частину дослідження фейковості облікового запису. По-перше, відсутність фотографій як на аватарі (*AVATAR*), так і в альбомах (*PROFILE*) вже свідчать про те, що даний обліковий запис є фейковим. По-друге, за наявності фотографій на сторінці їх потрібно аналізувати на предмет співпадіння з іншими зображеннями в Інтернеті (*PICTURES ON THE INTERNET*) або з фотографіями інших профілів (*StrangeProfiles*), оскільки користувач міг завантажити замість своїх фотографії знаменитостей (*Celebrities*), тварин (*Animals*) або інших об'єктів (*OtherPictures*). Кількість фотографій (*QuantityOfPhotos*) також є важливим показником, оскільки надмірна або замала кількість фотографій вказує на неправдивість фотографій або неактивність користувача відповідно.

Структурна модель метрик у категорії «Фото» показана на рис. 5.

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Фото» можна записати у вигляді кортежів:

PHOTO = {PROFILE; AVATAR}  
 PROFILE = {QUANTITY; COINCIDENCE}  
 AVATAR = {QUANTITY; COINCIDENCE}  
 QUANTITY = {NumberOfPhotos}  
 COINCIDENCE = {TheUserOtherProfilePhoto;  
 StrangeProfiles; PICTURE ON THE INTERNET}  
 PICTURE ON THE INTERNET = {Celebrities;  
 Animals; OtherPictures}

*Дата народження (DATE OF BIRTH)* має ознаки, які можуть вказувати на фейковість сторінки. Часто користувачі фейкових облікових записів не приділяють уваги детальному заповненню сторінки та залишають дату народження за

замовчуванням (зазвичай 1 січня). Також можлива ситуація, коли вік користувача (*DateOfBirth*) підлягає сумніву або не співпадає з іншими датами на сторінці (*DatesOnProfile*). Наприклад, користувачу 15 років, проте інша інформація на сторінці свідчить, що він закінчив ВУЗ 10 років тому.

Структурна модель метрик у категорії «Дата народження» показана на рис.5.

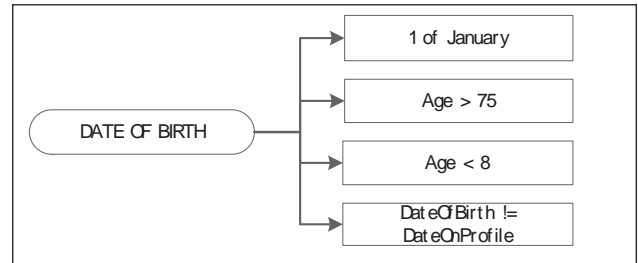


Рис. 6. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Дата народження»

Параметри моделі ознак фейковості у категорії «Дата народження» можна записати у вигляді кортежів:

DATEOFBIRTH = {DateOfBirth; DateOfBirth/  
 DateOnProfile}

Звичайно, окремо ці критерії не можуть однозначно вказувати на «фейковість» облікового запису, оскільки лише аналіз їх об'єднання може поставити під сумнів справжність облікового запису. Для більш точного визначення статусу облікового запису необхідно використовувати аналіз з використанням якомога більшої кількості критеріїв.

У цій статті не враховані інші важливі параметри облікових записів, наприклад час створення сторінки, швидкість формування кола друзів тощо, ці та інші параметри будуть враховані в подальших дослідженнях.

**Система підтримки прийняття рішення на основі рейтингових оцінок.** Для прийняття

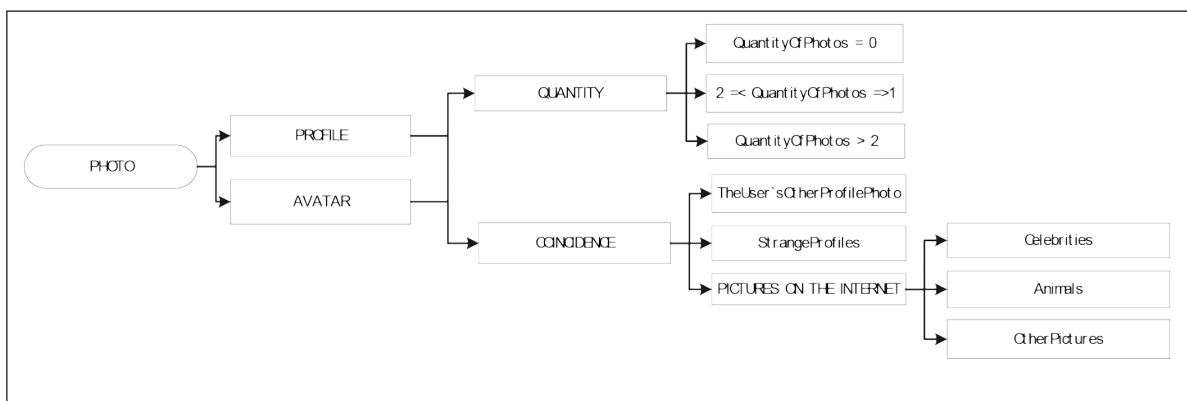


Рис. 5. Структурна модель ознак фейковості у категорії «Фото»

рішення щодо фейковості облікового запису запропоновано використовувати метод рейтингових оцінок, що дозволяє оцінювати інформацією, яка поділяється за категоріями, та враховує коефіцієнти значимості параметрів.

Нехай система оцінюється за  $n$  показниками,  $x_i$  – значення  $i$ -го показника. Представленням рейтингової оцінки є лінійна згортка, математична модель якої записується у вигляді [12]:

$$F = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i,$$

де,  $\lambda$  вага  $i$ -го показника, що визначається експертом.

На основі рейтингового підходу і багатофакторного аналізу розробляється група рейтингових оцінок показників і встановлюється зв'язок між ними. При цьому застосування рейтингового підходу передбачає, що рейтингові оцінки присвоюються усім групам факторів.

Нехай система ознак, що оцінюється, описується на основі заданого набору показників, таких як  $X = (x_1, \dots, x_p, \dots, x_n)$ . Показники можуть бути різномірними: числовими, логічними, лексичними, векторними тощо. Для оперування різномірними показниками для кожного з них введено нормовану функцію, яка будь-яке значення показників  $x_i$  пере-

водить у множину дійсних значень на відрізку  $[0; 1]$ , тоді  $0 \leq x_i \leq 1$ . Нормування може призвести до завищення або заниження фактичного показника, проте цей негативний ефект нормування нейтралізується за допомогою введення для кожного показника вагового коефіцієнта або індикатора значимості, що визначається емпіричним способом (наприклад, методом експертних оцінок). При існуванні залежності показників між собою необхідно врахувати змішані зведення, де коефіцієнтами є коефіцієнти кореляції відповідної пари.

Якщо вагові коефіцієнти підбирати за умови нормування, то цільова функція виконуватиме роль рейтингу на відповідному рівні ієрархії системи. Для того, щоб процес рейтингового підходу мав максимальний ефект, до нього мають бути залучені показники всіх факторів. Ця умова автоматично виконується, коли рейтингова оцінка на кожному рівні ієрархії співпадає з цільовою функцією. Інтегральна рейтингова оцінка відображає пріоритети показників. Формування цих показників, а отже і формування рейтингової оцінки, проводиться експертами.

**Експериментальні дослідження.** Для роботи з даними соціальної мережі Facebook було обрано мову програмування Python та бібліотеку Facebook-SDK [13, 14]. Для того, щоб отримати доступ до інформації про користувача у соціальній мережі

Таблиця 1

Результати аналізу облікових записів користувачів

Користувач	Статус облікового запису	Результат програми, балів	Висновок програми
Vitalii Holovenko	Справжній	37,8	Справжній
Татьяна Головенько	Справжній	45,9	Не визначено
OleksandrTorchii	Фейк	67,5	Фейк
IvanVorobyov	Справжній	19,8	Справжній
Alex Rudyk	Фейк	90,0	Фейк
Ольга Гнатюк	Справжній	21,6	Справжній
Петро Петрович	Фейк	96,3	Фейк
Andrii Beatle	Фейк	62,1	Фейк
Жека Олейник	Справжній	34,2	Справжній
Владислав Круговой	Справжній	54,0	Не визначено
Олеся Войтович	Справжній	48,6	Не визначено
Talii Santie	Фейк	77,4	Фейк
Jenny Rahl	Фейк	70,2	Фейк
Sergey Hubchakevych	Справжній	28,8	Справжній
Георгий Выфв	Фейк	87,3	Фейк
Alice Black	Фейк	66,6	Фейк
Liliana Vess	Фейк	69,3	Фейк
Konrad Von H.	Фейк	67,5	Фейк
Сергей Тарахта	Справжній	24,3	Справжній
Иван Петров	Фейк	44,8	Справжній
Fin Age	Фейк	65,7	Фейк

Facebook, необхідно отримати токен автентифікації, у якому вказані права розробника на доступ до даних у соціальній мережі [14].

Як показник обрано систему балів, що свідчить про фейковість облікового запису користувача. Кожен з параметрів під час аналізу залежно від умови отримує певну кількість балів а від 1 до 5. Так, 100 балів показує, що обліковий запис є фейковим, а 0 балів – справжнім. Для різних категорій було обрано різні вагові коефіцієнти, опираючись на експертні знання. Якщо результат дослідження становить від 10 до 45 балів, то система приймає рішення, що обліковий запис є справжнім, від 55 до 100 балів – обліковий запис є фейковим. Проте якщо результат було отримано у межах від 45 до 55 балів – необхідно провести додаткові дослідження. У результаті роботи програмного засобу на екран виводиться інформація про фейковість чи справжність облікового запису користувача.

Для тестування перевірено різні облікові записи користувачів у соціальній мережі Facebook, серед яких були як фейкові, так і справжні облікові записи. Наприклад, обліковий запис користувача VitaliiHolovento є справжнім, але деяка інформація

про користувача відсутня. У результаті перевірки програмний запис видає результат 37,8 балів, отже визначає його як справжній. Результати аналізу 21 облікового запису наведено у табл. 1.

Достовірність прийняття рішення становить близько 81%.

**Висновки.** Розглянуто та проаналізовано основні метрики соціальної мережі Facebook, на основі яких можна визначити фейковий обліковий запис. Проаналізовано кожен з метрик за їх можливими параметрами та впливом на статус облікового запису. Кожну з метрик віднесено до відповідних категорій для подальшої зручності їх аналізу.

Запропоновано структурну модель ознак для виявлення фейкових облікових записів за означеними метриками, яка включає в себе такі категорії як: лайки, персональні дані, статуси та посилання, друзі, фото, дата народження.

Розроблена система підтримки прийняття рішень, яка реалізує виявлення фейкових облікових записів у соціальній мережі Facebook на основі рейтингових оцінок. Експериментальні дослідження показали достовірність прийняття рішення системою 0,8.

#### Список літератури:

1. Voitovych O., Holovento V. Research of social networks as a source of information in warfare. Inzynier XXI wieku projectujemy przyszłosc: monografia / pod red: Jacek Rysiński. Bielsko-Biała, 2016. С. 111–119.
2. Дудатьев А. В., Войтович О. П. Інформаційна безпека соціотехнічних систем: Модель інформаційного впливу. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2017. № 38. С. 16–21.
3. Коршунов А., Белобородов И., Бузун Н. Анализ социальных сетей: методы и приложения. Труды Института системного программирования РАН. 2014. Т. 26. № 1. С. 439-456.
4. Дудатьев А.В. Комплексна інформаційна безпека СТС: моделі впливу та захисту : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2017. 128 с.
5. Нежданов И.Ю. Технологии информационных войн в Интернете URL: <http://bash.rosnu.ru/activity/attach/events/1283/01.pdf> (дата звернення: 10.01.2017).
6. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. М.: Физматлит, 2010. 228 с.
7. Michal Kosinski, Sandra C. Matz, Samuel D. Gosling, Vesselin Popov, David Stillwe. Facebook as a Research Tool for the Social Sciences. Opportunities, Challenges, Ethical Considerations, and Practical Guidelines. American Psychologist. 2015. Vol. 70. No. 6. 543-556 pp.
8. Aaron Aguis. 10 Metrics to Track for Social Media Success. URL: <https://www.socialmediaexaminer.com/10-metrics-to-track-for-social-media-success/> (дата звернення: 10.01.2017).
9. Батура Т.В., Копылова Н.С., Мурзин Ф.А., Проскураков А.В. Методы анализа данных из социальных сетей. Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11. Вып. 3. С. 5–21.
10. Берни Хоган. Анализ социальных сетей в интернете, 2013. URL: <https://postnauka.ru/longreads/20259> (дата звернення: 10.01.2017).
11. Горчинская О., Ривкин А. Анализ данных социальных сетей. Открытые системы. СУБД. 2015. № 3. С. 22.
12. Худяков Ю.Г., Николайкин Н.И., Андрусов В.Э. Управление опасностями производственной среды: Монография. М.: ООО «Проспект», 2017. 122 с.
13. API Reference URL: <https://facebook-sdk.readthedocs.io/en/latest/api.html> (дата звернення: 10.01.2017).
14. Find your Facebook ID URL: <https://findmyfbid.com/> (дата звернення: 10.01.2017).



**МОДЕЛИ И СРЕДСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ФЕЙКОВЫХ УЧЕТНЫХ ЗАПИСЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

*В статье предложены метрики признаков фейковых учетных записей в социальных сетях. Разработанные структурные модели, позволяющие определить фейковые учетные записи в социальной сети. На основе предложенных моделей и рейтинговых оценок разработана система поддержки принятия решений при определении фейковых учетных записей. Результаты экспериментальных исследований показали достоверность принятия решения около 0,8.*

**Ключевые слова:** *фейковые учетные записи, социальные сети, кибербезопасность, информационные войны, рейтинговая оценка.*

**MODELS AND INSTRUMENT FOR DETECTION  
OF FAKE ACCOUNTS IN SOCIAL NETWORKS**

*The metrics for social network fake account detection are proposed in the article. Structure model that allow detection of fake account in the social network is designed. Based on the proposed models and the ranking score, a decision making support system for detection of fake accounts in social network is developed. Experimental research shows accuracy of system decision making about 0.8.*

**Key words:** *fake accounts, social networks, cyber security, information wars, ranking score.*

УДК 621.382

**Гайдукевич С.В.**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»

**Семенова Н.П.**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
«Бережанський агротехнічний інститут»

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ

*Сформульовано вимоги до сучасних лабораторій та практичної складової навчального процесу при підготовці майбутніх фахівців технічного профілю на прикладі навчальної дисципліни «Електротехнічні системи електроспоживання» зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка». Проведено обґрунтування доцільності та переваги модернізації лабораторної бази навчальних лабораторій на базі впровадження сучасного обладнання та новітніх технологій.*

**Ключові слова:** навчальна лабораторія, мікропроцесори, Arduino Uno.

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших характеристик сучасного суспільства є перебування під впливом потужних глобалізаційних процесів, швидких змін умов життя, бурхливого розвитку новітніх технологій, широкого використання у всіх галузях промисловості та електроапаратобудуванні мікропроцесорів та безпосереднього їх впровадження в пристрої управління електричними апаратами, техніку релейного захисту, системи протиаварійної автоматики, в автоматизовані системи управління технологічними процесами виробництва, випробування і дослідження технологічних процесів і електричних апаратів, що викликано появою нових підвищених і різноманітних вимог до систем автоматизації управління об'єктами. Тому головною метою модернізації учбових лабораторій та практичної складової частини навчального процесу являється підготовка висококваліфікованих фахівців, які будуть швидко адаптуватися до умов виробничої діяльності і здатні вирішувати виробничі, наукові завдання у тісному зв'язку із завданнями збереження та збагачення людських цінностей, розширення професійних якостей, що стосуються здатності людини як суб'єкта діяльності виконувати необхідну і достатню множину функцій, забезпечуючи при цьому досягнення цілей ефективними методами [2, с. 278] та підвищення кваліфікації інженерних кадрів енергетичного профілю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Організація навчального процесу, формування змісту та діяльності з підготовки майбутніх інженерів-енергетиків сільськогосподарського виробництва завжди привертала увагу вітчизняних і зарубіжних дослідників.

Різномасштабному вивченню питання застосування новітніх технологій в навчальному процесі присвячено праці В. Беспалька, М. Сердюка, М. Голованя, Ю. Горошка, А. Новикова, Н. Щебетюка та ін.

Проте системний аналіз наукових джерел із означеної проблеми показує, що проведені дослідження не виснажують повноти обсягу актуальності і практичної значущості проблем підготовки майбутнього інженера до професійної діяльності під час навчання у ВНЗ.

Серед дослідників, які розглядали питання комп'ютеризації навчання, слід виокремити В. Бикова, А. Веліховську, М. Кадемію, Ю. Рамського, О. Спіріна, Н. Тверезовську, А. Уварова.

Незважаючи на обсяг наукових досліджень, присвячених різним аспектам досліджуваної проблеми, простежується недостатність досліджень, які б ілюстрували системний підхід щодо вивчення означеної проблеми в сучасних умовах [3, с. 278].

**Мета досліджень** – обґрунтування проблеми навчальних лабораторій та розробка принципово нових підходів до практичної складової частини

навчального процесу при підготовці майбутніх фахівців електротехнічного профілю на прикладі навчального курсу «Електротехнічні системи електроспоживання».

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз лабораторної бази вищих навчальних закладів України з електротехнічних спеціальностей показав, що зазвичай навчальні лабораторії залишаються оснащені застарілим обладнанням, яке залишилося з часів формування відповідних кафедр та факультетів [4, с. 185].

При інтенсивному розвитку науково-технічного прогресу з кожним днем в практичному навчальному процесі кількість задач збільшується. Стенди для дослідження різних методів нагріву, які базуються на основі існуючого лабораторного обладнання та релейно-контактної апаратури, не задовольняють сучасним вимогам ринку, так як опинилися не в змозі конкурувати з цифровими пристроями, в яких використовуються мікропроцесори.

В умовах кризи та недостатнього фінансування вищих навчальних закладів дуже важко вирішувати задачі модернізації лабораторної бази шляхом впровадження сучасної апаратури з широкими межами керування та вимірювання параметрів досліджуваної установки.

Аналізуючи обладнання лабораторії «Електротехнологій» та враховуючи свої можливості, покладена задача проведення модернізації своїми силами створивши універсальні пристрої, на базі існуючих стендів, які будуть відповідати сучасним тенденціям техніки, тобто охоплювати широкий спектр використання для виконання різноманітних технологічних процесів, матимуть достатню технічну базу для проведення не лише лабораторних робіт, а й зняття науково-дослідницьких експериментів, а також будуть володіти можливостями доповнення та нарощування, при необхідності, новою елементною базою.

При вивченні методу непрямого нагріву опром була реалізована установка для підтримання вологісно-температурного режиму. Об'єктом керування являвся саморобний інкубатор, в якому підтримувалася стала температура і вологість, а також приводився в рух електродвигун для обертання лотка з яйцями. Запропоноване рішення модернізації дозволило водночас досліджувати роботу системи керування параметрів мікроклімату приміщення інкубатора, реалізовану на класичній релейно-контактній базі керування, та систему, реалізовану на сучасному мікропроцесорному обладнанні, яка дозволяє проводити

необхідні налаштування складових стенду та досліджувати перехідні процеси з комп'ютерним керуванням від зовнішніх систем. При цьому можна провести порівняльний аналіз ручних та автоматичних засобів керування на базі мікропроцесора.

Такі методи проведення лабораторних робіт підвищують мотивацію студентів до навчання через популяризацію знань про можливості нових інформаційних технологій та мікроелектронних систем як засобів автоматизації технологічних досліджень та експериментів. Орієнтують на самостійну підготовку студентів, стимулюють на підвищення знань користування сучасними автоматизованими системами збору даних в експериментально-дослідницьких роботах та вивчення мов програмування для створення програмних засобів, розуміння принципів формування алгоритмів та способів їх реалізації.

Для виготовлення сучасного пристрою реалізували платформу Arduino Uno. Яка застосовується для створення електронних пристроїв, робототехнічних й інших конструкцій із можливістю прийому сигналів від різних цифрових та аналогових датчиків, які можуть бути підключені до неї, і керування різними виконавчими пристроями [5].

Arduino може використовуватися як для створення інтерактивних об'єктів автоматики, так і підключення до програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові і бездротові інтерфейси (наприклад: Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider).

Uno – сама популярна версія базової платформи Arduino USB, яка має стандартний порт USB.

Arduino Uno – пристрій на основі мікроконтролера ATmega328. До його складу входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання.

Плати програмуються через USB, що можливо завдяки мікросхемі конвертера USB-to-Serial FT232R. Програмування плат Arduino ведеться через власну програмну оболонку (IDE), безкоштовно доступну на сайті Arduino. У цій оболонці є текстовий редактор, менеджер проектів, препроцесор, компілятор та інструменти для завантаження програми в мікроконтролер.

Програми Arduino пишуться мовою програмування C або C++. Середовище розробки Arduino

поставляється разом із бібліотекою програм, яка називається «Wiring».

Відмінними рисами виготовленого пристрою керування мікрокліматом інкубатора, виконаного на базі мікропроцесора, являється можливість значного розширення функцій шляхом додавання нових алгоритмів і програм в систему програмного забезпечення, високий рівень уніфікації елементів, можливість перепрограмування, для реалізації тих або інших функцій без зміни комплексу технічних і апаратних засобів і автоматизації процесів діагностики і настройки апаратури, а також перепрограмування для використання в інших технологічних процесах.

Задана дія  $G(t)$ , яка подається до мікропроцесора, який являється автоматичним керуючим пристроєм, забезпечує формування в ньому заданого значення температури  $T_0(G(t))$  і вологості  $\phi_0(G(t))$  (рис. 1). Фактичне значення температури  $T$  і вологості  $\phi$  вводиться до керуючого пристрою через основний зворотний зв'язок (ОЗЗ), в який ввімкнений комбінований датчик температури й вологості (сприймаючий елемент).

Керуюча дія  $U(t)$  в таких системах формується втоматичним керуючим пристроєм з використанням інформації про відхилення відповідно  $T, \phi$  від  $T_0, \phi_0$  тобто інформації про  $\Delta T = T_0 - T$  і  $\Delta \phi = \phi_0 - \phi$ . При цьому говорять, що така система працює за принципом відхилення.

Регулюючими органами об'єкту керування, що використовуються автоматичним керуючим пристроєм для стабілізації локального обігріву в приміщенні є нагрівальний елемент (НЕ) лампи розжарення, зволоження повітря – зрошувальна система (насос, вентилятор)

При цьому керуюча дія з боку автоматичного керуючого пристрою формується у вигляді вми-

кання НЕ при  $T < T_0$ ; вимкнення НЕ при  $T > T_0$  і вмикання СП при  $\phi < \phi_0$ ; вимкнення СП при  $\phi > \phi_0$ .

З характеристики (Рис.2) видно, що в статичній характеристиці позиційного регулятора є зона неоднозначності  $\Delta T_0 = T_{0 \max} - T_{0 \min}$ , завдяки якій ввімкнення і вимкнення НЕ (вимкнення і ввімкнення ЛР) виникає при різних температурах, що відрізняються на величину  $\Delta T_0$ .

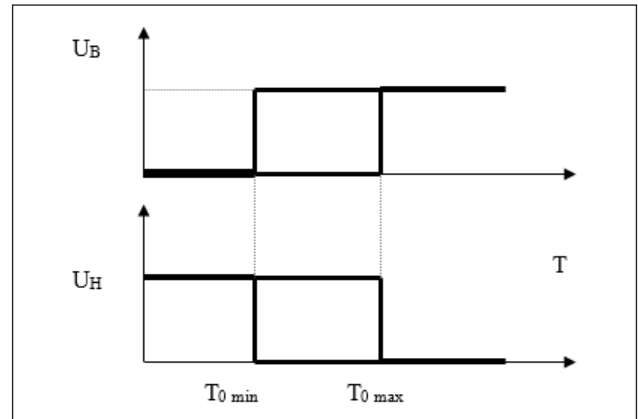


Рис. 2. Статична характеристика регулятора температури

Наявність зони неоднозначності  $\Delta T_0$  в характеристиці регулятора температури приводить до того, що в замкнутих системах стабілізації температури з таким регулятором усталений режим роботи, на якому  $T = T_0$ , неможливий. Температура в таких системах на усталених режимах роботи постійно змінюється, здійснюючи коливання відносно якогось середнього значення  $T_{0 \text{ ср}}$ . Причиною цього є те, що при  $T \leq T_{0 \max}$  позиційний регулятор вмикає тільки НЕ, який збільшує  $T$  до  $T_{0 \max}$ , а при  $T \geq T_{0 \max}$  вимикає НЕ, який зменшує  $T$  до  $T_{0 \max}$ .

Введення в статичну характеристику регулятора температури зони неоднозначності (гістерезису)

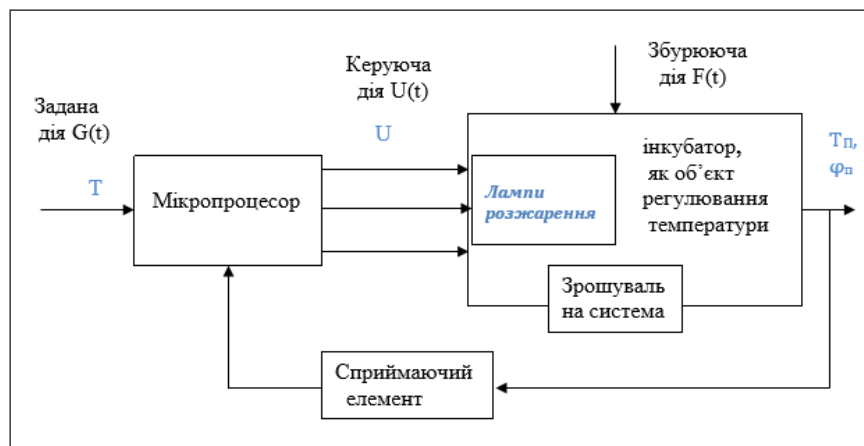


Рис. 1. Функціональна схема замкненої системи стабілізації температури й вологості повітря в інкубаторі

зису) усуває можливість повторних спрацювань позиційного регулятора на режимах перемикачів при  $T=T_0$  і підвищує тим самим, запас стійкості замкненої системи, що включає в себе позиційний регулятор.

Задана дія (ЗД), що прикладається до регулятора температури для його настройки на задану температуру  $T_0$  і зону неоднозначності  $\Delta T_0$ , формується оператором у вигляді повороту відповідних ручок настройки регулятора.

Сприймаючим елементом (СЕ і СП) вимірювального пристрою (ВП) мікропроцесора температури й вологості є датчик температури, який вмикається в одне плече вимірювальної мостової схеми змінного струму.



Рис. 3. Загальний вигляд пристрою

Сучасні мікропроцесорні установки мають малі габаритні розміри, і можуть розміщатися поруч з керованими об'єктами, володіють високою надійністю і розвиненими логічними можливостями, характеризуються низькими енергоспоживанням і вартістю, що має широкі спектри для використання при модернізації не тільки лабораторії «Електротехнологій», але й інших навчальних лабораторій для виконання різноманітних технологічних процесів (рис. 3).

Таким чином, використання в учбовому процесі виготовленого електронного пристрою, виконаного на базі мікропроцесора, дозволить:

- на більш високому рівні підготувати студентів до практичної реалізації інженерно-технічних рішень;
- оцінити енергоефективність методів регулювання параметрів досліджуваної установки;
- виконати аналіз досліджуваних параметрів;
- вивчити специфіку дистанційного регулювання параметрів об'єкту керування;
- побудувати характеристики замкнутих систем;
- досліджувати статичні та динамічні режими роботи об'єкту керування;
- отримати навички роботи із сучасним обладнанням та програмним забезпеченням, що використовується в автоматизованих системах керування технологічним процесом;

– вивчити принципи побудови та функціонування силових перетворюваних пристроїв;

– досліджувати енергетичні процеси в складних електричних і електромеханічних перетворювачах енергії;

– виконати оцінювання ресурсу та технічного стану електромеханічних систем на базі складової миттєвої потужності та показників якості перетворення енергії;

– отримати навички налаштування сучасних пристроїв при автоматизації й стабілізації технологічних параметрів у системах керування;

– тодержати стимул для набуття знань з інформатики та програмування, умінь проектування та використання автоматизованих систем збору даних;

– навчитися використовувати інформаційно-комунікаційні технології в експериментально-дослідницькій роботі з метою ефективного розв'язання нетипових завдань щодо отримання та подання інформації через мікросистеми збору даних, обробки цих даних, збереження для подальшого опрацювання;

– сформувати науковий світогляд як невід'ємну складову частину загальної культури людини, необхідної умови повноцінного життя в сучасному суспільстві;

– одержати інтелектуальний розвиток особистості, розвиток логічного мислення, алгоритмічної, інформаційної та графічної культури, пам'яті, уваги, інтуїції.

Пошук найбільш раціональних форм і методів формування умінь та навичок у студентів є одним із найголовніших завдань вищого навчального закладу, від яких залежить комплексна і якісна підготовка майбутнього фахівця [2, с. 280].

Найефективніший принцип підготовки інженерів є поєднання теоретичної і практичної складової навчального процесу. Це поєднання дозволяє за допомогою практичних занять закріпити одержані теоретичні відомості. При цьому існує певна суперечність між теоретичним і практичним навчанням. Наявність певної матеріальної бази для проведення лабораторних робіт стримує зміну теоретичного курсу. У той же час теоретичний курс повинен постійно удосконалюватися, мінятися відповідно до прогресу в тій або іншій області. Але процес інженерної освіти немислимий без отримання практичних знань і навичок. Як правило, для проведення практичних занять використовуються комп'ютерні моделі лабораторних стендів і устаткування. Проте складно переоцінити користь, з погляду якості освіти,

використовування для лабораторних і практичних занять реальних пристроїв, особливо в області електроніки.

**Висновки.** Одним із видів удосконалення практичної складової навчального процесу при підготовці майбутніх фахівців електротехнічного профілю є застосування сучасних інноваційних

технологій навчання та модернізації навчальних лабораторій пристроями, які виготовлені на базі мікропроцесора студентами під час виконання курсових і дипломних проектів. Можливості яких дозволяють використання їх у лабораторних практикумах інших навчальних дисциплін та наукових дослідженнях кафедри.

#### Список літератури:

1. Омельченко Л.М., Керницький О.М. Проблема формування професійної компетентності майбутніх фахівців енергетичного профілю у сучасних умовах. Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. 2010. Вип. 3/2010 (62). Ч. 1. С. 169–171.
2. Потапенко М.В., Рамш В.Ю., Семенова Н.П., Гайдукевич С.В. Особливості застосування комп'ютерного моделювання при вивченні фахових електротехнічних дисциплін. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. Вип. 240. С. 278–284.
3. Наукова думка сучасності і майбутнього використання інноваційних педагогічних технологій у ВНЗ як фактор формування професійних умінь майбутнього викладача: матеріали XI всеукраїнської практично-пізнавальної конференції (1-7 травня 2017 р., Дніпро), Дніпро, 2017. 44 с.
4. Прітченко О.В., Калінов А.П., Мельников В.О. Використання дрібномасштабних фізичних моделей для дослідження систем керування електроприводами. Вісник КДПУ. 2010. Вип. 3/2010 (62). С. 184–188.
5. Мартинюк О. С. Підготовка майбутніх учителів фізики до використання засобів мікроелектроніки та комп'ютерної техніки в навчальному фізичному експерименті: монографія. Луцьк, 2013. С. 272.

#### ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

*Сформулированы требования к современным лабораториям и практической составляющей учебного процесса при подготовке будущих специалистов технического профиля на примере учебной дисциплины «Электротехнические системы электропотребления» по специальности «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика». Проведено обоснование целесообразности и преимущества модернизации лабораторной базы учебных лабораторий на базе внедрения современного оборудования и новейших технологий.*

**Ключевые слова:** учебная лаборатория, микропроцессоры, Arduino Uno.

#### FEATURES OF MODERNIZATION OF EDUCATIONAL LABORATORIES

*The requirements are formulated to the modern laboratories and practical constituent of educational process at preparation of future specialists of technical type on the example of educational discipline «Electro-technical systems of electro-consumption» from speciality «Electroenergy, electro-technique and electromechanics». Generalization is conducted of expedience and advantage of modernization of laboratory base of educational laboratories on the base of introduction of modern equipment and newest technologies is conducted.*

**Key words:** educational laboratory, microprocessors, Arduino Uno.

УДК 528.7: 629.78

**Гнатовская А.А.**

Одесский государственный экологический университет

**Мещеряков Д.В.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Черепанова Е.В.**

Одесский государственный экологический университет

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*В статье рассмотрены особенности процесса принятия решений при управлении интенсивностью облучения человека в инфракрасной камере пелоидотерапии, работающей по схеме с биологической обратной связью. Показано, что принятие решений требует учета неопределенности декларируемой цели, временных интервалов реализации процедуры, зависимости признаков пространства человека не только от входных воздействий, но предыстории воздействий и состояний.*

**Ключевые слова:** принятие решений, инфракрасное облучение, биологическая обратная связь.

**Постановка проблемы.** Системы управления с биологической обратной связью (БОС) относятся к специфическому виду информационных систем, в которых человек непосредственно в реальном масштабе времени участвует в выработке управляющих решений. При этом человек может выступать как в качестве средства принятия осознанных решений (управление транспортными средствами, тренажеры, системы психологического тестирования), так и канала обратной связи с использованием генерируемых внешних признаков (сигналов электроэнцефалограмм, электрокардиограмм, частоты сердечных сокращений) при восстановлении двигательных функций, протезировании и т.п. Особенностью систем с БОС является то, что модель человека является иерархической многомерной структурой, в которой локальное управление неприемлемо вследствие его низкой эффективности.

Разбиение модели человека на независимые подсистемы неосуществимо без потери смысла функциональной системы, поскольку все составляющие системы взаимосвязаны и взаимообусловлены, целевая функция не является наперед заданной, а меняется в зависимости от контекста, ситуации, предыстории процесса, достижимости предыдущей цели. Вместе с тем технико-био-

логическая система должна считывать и выявлять общие процедурные компоненты, которые должны обеспечить связи элементов и целевой функции. При этом целевая функция может служить системообразующей, поскольку и связи, и элементы биологической системы не являются однозначными и испытывают существенное влияние внешней среды. Сложность системы с БОС определяется не только сложностью связей и элементов, но и потребностью принятия решений (выбор альтернатив), формальность представления цели в которых проблематична. Математическая модель системы представляется в виде связи входных воздействий  $X$ , выходных реакций  $Y$ , собственных параметров  $V$  и оператора функционального преобразования  $F$ , т.е.  $Y=F\{X, V\}$ , а ее состояние набором признаков или их производных. Проблема заключается в том, что оператор функционального преобразования человека является неоднозначным, следовательно, усложняется и проблема принятия решений.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Метод БОС получил широкое распространение в медицинских приложениях в качестве коррекции патологических состояний и тренировки физиологических функций организма [1]. Это обусловлено, в первую очередь, тем, что созданы технические

средства, позволяющие с требуемой точностью и оперативностью фиксировать признаки тканей и органов человека [2; 3]. В качестве информационных признаков обычно используются: показатели электромиограммы как основного метода коррекции двигательных нарушений [4]; кожно-гальванической реакции, отражающей активность потовых желез и симпатической нервной системы [5]; температуры кожи и конечностей, определяющих интенсивность периферического кровотока [5]; ритм дыхания, отражающий функциональные расстройства органов дыхания и функционального состояния мозга [7]; частоты сердечных сокращений, характеризующие состояние сердечнососудистой системы [8; 9]; электроэнцефалограммы, характеризующей активность головного мозга [10, 11]. Области использования информационно-управляющих систем с БОС включают регулирование эмоционального состояния человека при выполнении монотонных операций [12]; обучение при использовании ранее полученных данных профессионалов [13], что способствует подготовке спортсменов и операторов; использование визуальной и слуховой обратной связи для управления текущей ситуацией [14] при подготовке летчиков, водителей, военнослужащих и т.п.

Многообразие задач, решаемых с применением БОС, приводит к тому, что используемое признаковое пространство специфично для каждой задачи и непосредственно влияет на систему принятия решений. В частности, для систем инфракрасной пелоидотерапии [15] плотность мощности излучения оказывает непосредственное влияние на эффективность лечебной процедуры. Учитывая, что пациенты отличаются по массе, возрасту, характеру заболевания, восприятию температуры внешней среды, формируемый камерой пелоидотерапии инфракрасный поток должен быть индивидуален для каждого случая. Очевидно, что задачи данного класса встречаются при создании систем обеспечения работы операторов в замкнутых объемах, скафандрах, разработке одежды для функционирования при высоких и низких температурах и т.п.

**Формулирование целей статьи.** Целью работы является анализ подходов для создания алгоритмов принятия решений информационной системой управления плотностью мощности инфракрасного излучения, которая по реакции организма обеспечивают наиболее благоприятные условия проведения процедуры пелоидотерапии.

**Изложение основного материала.** В соответствии с теорией функциональной системы Анохина, принятие решений в биологических систе-

мах основано на предсказании реакции объекта на определенные раздражения. Это предполагает идентификацию функционального преобразования, учитывающую взаимосвязь биологической и технической составляющей частей системы и единообразия описания. Особая трудность при создании системы представляет биологический объект в силу ограниченности и неоднозначности информации о структуре и функционировании применительно к решаемой задаче. Важной характеристикой системы является эффективность, которая характеризует степень приспособленности составляющих элементов к достижению поставленной цели при минимизации средств ее достижения. Атрибуты системы должны быть доступны для измерения удобными и доступными средствами для не инвазивных методик. Поскольку исполнительное воздействие относится к техногенным показателям, то и целевая функция должна быть формализуемым значением, что не всегда реализуемо. В рассматриваемой задаче управления инфракрасной нагрузкой в камере пелоидотерапии целевой функцией может быть *комфортное состояние* пациента, которое зависит от многих физиологических факторов конкретного человека и предыстории процесса. Понятие комфортное состояние трудно формализуемо, поэтому необходим поиск внешних признаков обеспечения наилучшей эффективности проведения, например, инфракрасной пелоидотерапии.

Поскольку живые организмы являются открытыми системами, в которых происходит обмен информацией, энергией и веществом с окружающей средой, обычно выделяют кибернетические и метаболические функции [16]. Кибернетические функции включают сбор информации о внешней и внутренней среде, переработку информации с принятием решений и управляющими функциями, формирование исполнительных функций, внешние проявления которых могут быть использованы в качестве признакового пространства биологического объекта. Теория функциональных систем П.К. Анохина связывает воедино все перечисленные компоненты, при которых система обеспечивает полезный приспособительный результат. Функциональная система включает периферические и центральные узловы механизмы: полезный приспособительный результат, рецепторы результата, обратную афферентацию от рецепторов в центральные отделы, центральную архитектуру объединения нервных элементов различных уровней, эффекторные компоненты включая целенаправленное поведение.



В живом організмі раціонально розподіляються функції управління між центральною нервовою системою і локальними управляючими і виконавчими підсистемами. Виділення будь-якої незалежної підсистеми практично неможливо, оскільки функціональна система для отримання пристосованого результату задіяна всі ці підсистеми, і кожна з них бере участь в процесі досягнення поточної мети функціональної системи. Якщо така функціональна система знаходиться в ланці зворотного зв'язку, важливими стають як ознаки простору, генеровані цією системою в відповідь на зовнішнє подразнення, так і ступінь однозначності структури *вхідне вплив – генероване ознакове простору*.

В розглянутому завданні використання людини, що знаходиться в камері інфрачервоного пелюидотерапії (рис. 1), таким ознаком є реакція на різну густоту потужності інфрачервоного випромінювання.



Рис. 1. Камера пелюидотерапії

При проведенні процедур лікування опорно-двигального апарату людини, допустимо застосування тільки неінвазивних засобів вимірювання ознак реакції людини на густоту потужності випромінювання. До таких ознак можна віднести частоту серцевих скорочень, потовиділення і поверхню температуру шкіри. Частота серцевих скорочень, яка визначає об'єм крові, що протікає в одиницю часу по судинах людини, впливає на скидання теплових потоків від перегрітих поверхневих ділянок в об'ємний накопичувач, яким є людське тіло, і менш нагріті поверхневі ділянки для радіаційного охолодження. Потовиділення є найбільш ефективним способом видалення надлишку тепла за рахунок фазового переходу і може бути діагностовано шляхом вимірювання поверхневого опору шкіри. Поверхня температура шкіри, включаючи роговий шар, в якому немає інших способів відводу тепла крім теплопровідності в внутрішні шари тканин і радіаційного випромінювання. Глибина поглинання довгохвильового інфрачервоного випромінювання становить десяті частки міліметра, що порівняно з товщиною шкіри.

Вегетативні реакції при впливі інфрачервоного випромінювання на шкіру людини: регуляризація розподілу крові в тканинах, зміна ритму серця, потовиділення, тиску можуть слугувати ознаковим простором для системи з біологічною зворотним зв'язком. Гомеостатичні реакції організму можуть підтримувати

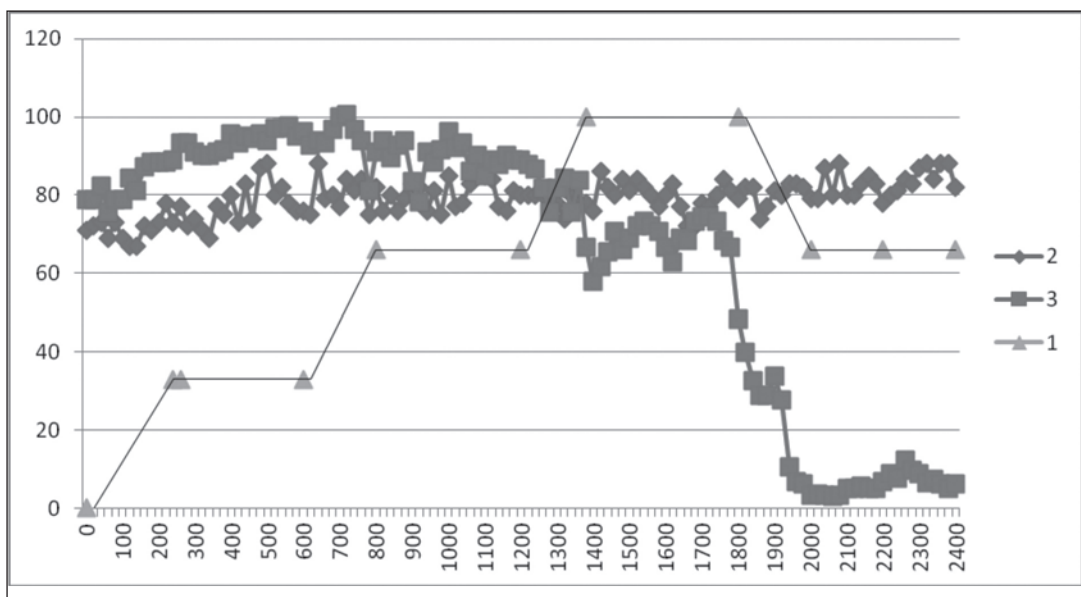


Рис. 2. Реакція на ступенчасте збільшення потужності інфрачервоного випромінювання: 1 – потужність випромінювання, 2 – частота серцевих скорочень, 3 – опір шкіри

приспособительный результат на постоянном уровне. Например, перераспределение потоков крови на внешние периферические области при облучении инфракрасным облучением могут привести к тому, что частота сердечных сокращений останется практически неизменной и не может быть использована в качестве первичного признака для управления плотностью мощности обогрева пациента. Проведенные эксперименты (рис. 2 и 3) подтвердили, что в диапазоне применимости плотности мощности инфракрасного излучения перепады мощности оказывают влияние на частоту сердечных сокращений, однако в дальнейшем сколь либо заметных отклонений от предыдущего уровня мощности не наблюдалось. Это может быть связано с перераспределением потока крови в периферийные области без заметного изменения ритма сердца. Данный признак может быть рекомендован для анализа переходных процессов, чем и объясняется значительный интерес к вариабельности сердечного ритма для систем с биологической обратной связью.

Проведенные экспериментальные исследования, представленные в относительных единицах в функции времени, показывают, что для данного приложения сопротивление кожи является более информативным признаком по сравнению с частотой сердечных сокращений, однако запаздывание сигнала значительно, особенно при уменьшении уровня мощности. Из экспериментов также следует, что единственный признак не достаточен для использования в канале биологической обратной

связи регулирования мощности инфракрасных излучателей. Для принятия решения требуются дополнительные признаки, обладающие меньшей инерционностью, например поверхностная температура кожи, которую можно оперативно определять инфракрасным пирометром.

Особенностью задачи принятия решений в системе управления интенсивностью инфракрасного излучения является ограниченное время, причем это время зависит от текущей ситуации. Это предполагает некий набор алгоритмов, имеющих различное время исполнения и, соответственно, качество управления. Стандартным решением проблемы является использование самых быстрых и простых алгоритмов, т.е. исключение из рассмотрения итерационных и рекурсивных алгоритмов принятия решений. Это требует анализа подходов к разработке алгоритмов принятия решений, учитывающих корректность постановки задач относительно сложности, стратегии изменения алгоритма при его исполнении.

Вместе с тем именно итерационные алгоритмы оказываются наиболее приемлемыми для сложных систем с неопределенностью, поскольку обеспечивают пошаговую корректировку процесса при изменяющихся условиях внешней среды и неоднозначности передаточных характеристик звеньев системы, что характерно для живых организмов. В общем виде структуры сложных распределенных иерархических систем строятся по двум структурам: треугольной и даймонд [17]. Структура треугольного типа включает в каче-

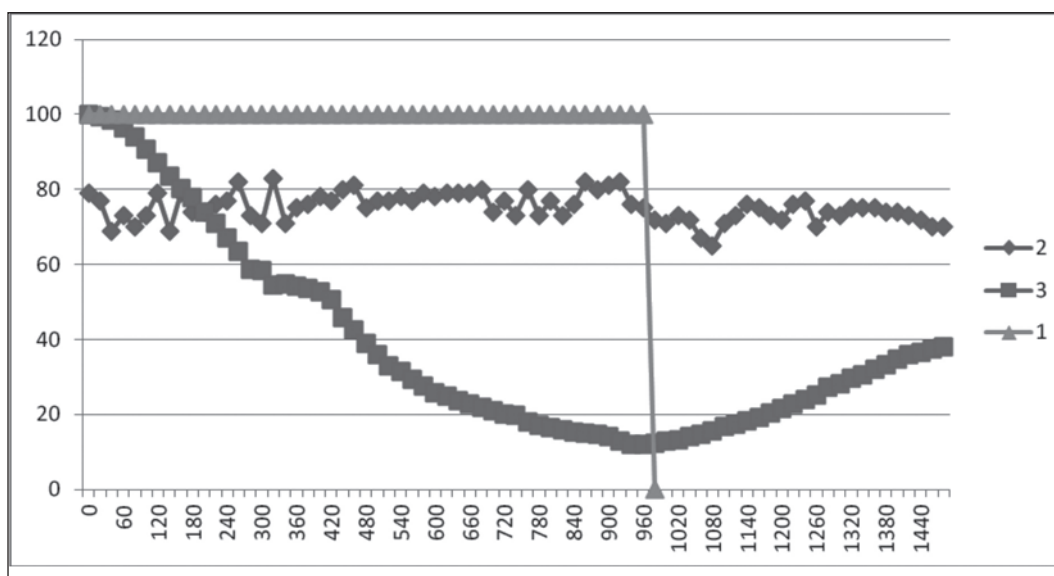


Рис. 3. Реакция на скачкообразное изменение мощности инфракрасного облучения: 1 – мощность облучения, 2 – частота сердечных сокращений, 3 – сопротивление кожного покрова

стве верхнего уровня – уровень оперативного управления и принятия решений, следующего уровня – уровень координации, следующего уровня – уровень локальной оптимизации, следующий – уровень локального автоматического регулирования, нижний уровень – объект управления. Каждый уровень структуры связан с последующим управляющим и информационным каналами, что обеспечивает локальную коррекцию принимаемых решений между уровнями. На верхнем уровне оперативного управления и принятия решений определяются цели и задачи, ограничения и управление ресурсами. На уровне координации выделяются критерии управления системы, применительно к системе пелоидотерапии – согласование алгоритмов подачи энергии и спектрального состава излучения в зависимости от характера заболевания и реакции пациента. На уровнях управления и регулирования оптимизируются подобъекты и стабилизируются значимые параметры. Учитывая только локальные обратные связи между соседними уровнями, данная система должна обладать высоким быстродействием.

Даймонд-структура характеризуется тем, что от уровня оперативного управления и принятия решений связи на более низкие уровни односторонние и представляют собой локальные регуляторы, реализующие заданные законы. После уровня объекта управления структура

уровней обратная треугольной и представляют собой информационные подсистемы оптимизаторов, перерабатывающих информацию. От каждого информационного уровня на одноименный уровень регуляторов вводится канал обратной связи. Несомненным достоинством такой системы является то, что возможно построение итерационной системы, в которой первая итерация устанавливается по усредненному уровню предыдущих экспериментов, а в дальнейшем по признакам конкретного объекта уточняются показатели. Если фиксировать текущие значения показателей системы по каждому уровню, то система может использовать промежуточные решения с последовательным их уточнением.

#### Выводы:

1. Представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению значимых признаков, которые могут быть использованы при принятии решений по управлению мощностью инфракрасного излучения камеры пелоидотерапии системой с биологической обратной связью.

2. Показано, что наиболее удовлетворяющей структурой управления системой с биологической обратной связью является даймонд-структура, которая позволяет итерационно формировать решения от предполагаемого до уточненного с возможностью использования промежуточных решений.

#### Список литературы:

1. Плоткин, Ф.Б. Компьютерное биоуправление: прогрессивные технологии – в практику здравоохранения. Новые технологии в медицине. Минск, 2012. С. 106–110.
2. Соколов, А.В. Современные направления и перспективы развития аппаратных средств биоуправления. Биологическая обратная связь. 1999. № 1. С. 18–29.
3. Федотчев, А.И., Бондарь А.Т., Ким Е.В. Адаптационное биоуправление с обратной связью и контроль функционального состояния. Успехи физиологических наук. 2002. Т. 33. № 3. С. 79–96.
4. Федотов, А.А. Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. Москва, 2013. 250 с.
5. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Москва, 2007. 640 с.
6. Ураков, А.Л. Инфракрасное тепловидение и термология как основа безопасной лучевой диагностики в медицине. Фундаментальные исследования. 2013. № 9-4. С. 747–751.
7. Сороко С. И., Трубачев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. Санкт-Петербург, 2010. 607 с.
8. Hallman D. M., Olsson E. M., Von Scheele B. et al. Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress – related chronic neck pain: a pilot study. Appl. Psychophysiol. Biofeedback, 2011. Vol. 36, N. 2. P. 71–80.
9. Wheat A.L., K.T. Larkin. Biofeedback of heart rate variability and related physiology: a critical review. Appl. Psychophysiol. Biofeedback, 2010. Vol. 35, N. 3. P. 229–242.
10. Каплан А. Я. ЭЭГ как управляющий сигнал: на пути к биотехнической нейрокоммуникации. Биоуправление: теория и практика. 2010. С. 7–18.
11. Evans, J.R. Handbook of neurofeedback: Dynamics and clinical applications NY, 2007. 378 p.
12. Lane A.M. , Wilson M.G., Whyte G.P., Shave Physiological correlates of emotion-regulation during prolonged cycling performance. Appl Psychophysiol Biofeedback, 2011. 36(3). P.181–4.

13. Ajemian R., D'Ausilio A., Moorman H., Bizzi E. Why professional athletes need a prolonged period of warm-up and other peculiarities of human motor learning. *J Mot Behav*, 2010. 42(6). P. 381-8.
14. Ajemian R., D'Ausilio A., Moorman H., Bizzi E. Immediate effect of visual and auditory feedback to control the running mechanics of well-trained athletes. *J Sports Sci*, 2011. 29(3). P. 253–262.
15. Деклараційний патент № 58051А (Україна). Спосіб пелоїдотерапії та камера для його здійснення / Косоверов Є.О., Тищук М.М., Мещеряков В.І., Веселкова Т.О.
16. Акулов С.А., Федотов А.А. Основы теории биотехнических систем. Москва, 2014. 259 с.
17. Егупов, Н.Д. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. Москва, 2002. 744 с.

### **ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СИСТЕМІ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ**

*У статті розглянуті особливості процесу прийняття рішень при управлінні інтенсивністю опромінювання людини в інфрачервоній камері пелоїдотерапії, що працює за схемою з біологічним зворотним зв'язком. Показано, що прийняття рішень потребує врахування невизначеності мети, яка декларується, часових інтервалів реалізації процедури, залежності ознакового простору людини не тільки від вхідних впливів, але і передісторії впливів і станів.*

**Ключові слова:** прийняття рішень, інфрачервоне випромінювання, біологічний зворотній зв'язок.

### **TAKING A DECISION IN THE SYSTEM WITH BIOLOGICAL FEEDBACK**

*The peculiarities of the decision taking process working according to a scheme with biological feedback in controlling of a human radiation intensity in an infrared chamber of peloidotherapy are considered in the article. It is shown that the decision-taking requires taking into account the uncertainty of the declared goal, the time intervals for the procedure implementation, the dependence of the human feature space not only on the input effects, but on the prehistory of impacts and states.*

**Key words:** decision taking, infrared radiation, biological feedback.

УДК 004.891.3:004.3

**Говорущенко Т.О.**

Хмельницький національний університет

**Боднар М.А.**

Хмельницький національний університет

**Стасенко А.С.**

Хмельницький національний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК CODESTYLE НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*У статті досліджується вплив характеристик CodeStyle на характеристики якості програмного забезпечення. Проведене дослідження дало можливість зробити висновок про те, що характеристики CodeStyle впливають на всі вісім характеристик якості ПЗ, а не тільки на зручність його використання.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення (ПЗ), якість ПЗ, характеристики якості ПЗ, стандарт ISO 25010:2011, CodeStyle.

**Постановка проблеми.** Ключовим фактором забезпечення ефективного застосування програмного забезпечення (ПЗ) та однією із основних вимог користувачів і зацікавлених осіб до сучасного ПЗ є досягнення високих значень показників його якості. Якість ПЗ є основним чинником для його успішного впровадження та експлуатації. Потреба в забезпеченні якості ПЗ впливає з того, що помилки та відмови ПЗ загрожують катастрофами, які призводять до людських жертв, екологічних катаклізмів, значних часових втрат та фінансових збитків.

Якість ПЗ має зовнішні та внутрішні характеристики. До зовнішніх характеристик належать властивості, які усвідомлює користувач ПЗ. До внутрішніх характеристик якості належать властивості, які цікавлять програміста (в т. ч. й властивості читабельності та зрозумілості коду, які визначаються CodeStyle). Поняття якості ПЗ включає не лише повноту та коректність реалізації потрібного функціоналу, але й простоту підтримки та модифікації коду, тому зовнішні та внутрішні характеристики якості взаємопов'язані – внутрішні характеристики впливають на зовнішні [1, с. 456–459].

*Тоді актуальною задачею є визначення впливу характеристик CodeStyle на характеристики якості програмного забезпечення.*

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Різниця між внутрішніми та зовнішніми характерис-

тиками якості дещо розмита, оскільки внутрішні характеристики впливають на зовнішні. Якщо ПЗ недостатньо зрозуміле або незручне в супроводі, в ньому важко виправляти дефекти, що, у свою чергу, впливає на такі зовнішні характеристики, як коректність та надійність. ПЗ, що «страждає» від браку гнучкості, неможливо покращити у відповідь на запити користувачів, що відбивається на його практичності [1, с. 458].

Важливим аспектом управління процесом розроблення ПЗ є «брама якості» – періодичні огляди (review), які дозволяють визначати, чи достатню якість має ПЗ на конкретному етапі розроблення [2]. Огляди коду не лише забезпечують більш високу ефективність виявлення помилок, ніж тестування, але й дозволяють виявляти типи помилок, на які тестування вказати не може. Ефективність виявлення дефектів при використанні неформальних оглядів коду складає 20–35%, а при використанні формальних інспекцій коду – 45–70% [1, с. 459–473]. На цю ефективність впливає читабельність та зрозумілість коду – чим читабельніший та зрозуміліший код, тим продуктивнішим є проведення оглядів коду (зазвичай, ця продуктивність становить 1000 рядків на день [1, с. 486]) і тим вищою є ефективність виявлення дефектів. «Програми повинні писатись для того, щоб їх читали люди, і лише потім для виконання машиною» [3].

У роботі [4] досліджено підхід до використання аналізів коду з метою покращення якості програмного забезпечення та зменшення певних класів несправностей для конкретних програмних систем. Дослідження [5] досліджує вплив швидкості перегляду на ефективність дефектоспроможності та якість програмного забезпечення. Рекомендована швидкість огляду у 200 рядків коду на годину була визначена у [5] як базова для окремих оглядів, в разі високої читабельності та зрозумілості коду.

Робота [6] спрямована на виявлення архітектурної тактики в коді, а також на візуалізацію взаємовпливу читабельності коду та якості ПЗ. У роботі [7] доведено, що якість програмного забезпечення також залежить від організації коду, тобто його дизайну; проаналізовано, як на якість ПЗ впливають шаблони проектування (patterns), антипаттерни (antipatterns), а також «код із запашком» (code smell) – код з ознаками проблем. У роботі [8] пропонується метод застосування стилів програмування на основі онтологій, що підвищує ефективність і автоматизує відповідні процеси.

**Постановка завдання.** Проведений аналіз досліджень та публікацій показав, що читабельність та зрозумілість коду, а також його зовнішній вигляд впливають на розуміння коду та на якість ПЗ. Зазначені властивості значною мірою визначаються стилем коду (CodeStyle), який має вплив на всі процеси життєвого циклу. Але на сьогодні не досліджено, які саме характеристики CodeStyle впливають на якість ПЗ, а також не досліджено, на які саме характеристики якості ПЗ впливає CodeStyle, чому й присвячено подальше дослідження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** *Характеристики якості програмного забезпечення.* Згідно зі стандартом [9] якість ПЗ визначається за 8-ма загальними характеристиками (характеристика – це набір властивостей ПЗ, за допомогою яких описується та оцінюється його якість): функційна придатність (Functional Suitability), ефективність (Performance Efficiency), сумісність (Compatibility), зручність використання (Usability), надійність (Reliability), захищеність (Security), супроводжуваність (Maintainability), можливість переносу (Portability). Характеристики якості ПЗ можуть бути уточнені на основі комплексних показників (підхарактеристик), які ґрунтуються на властивості задовольняти заявлені або виникаючі потреби. Згідно зі стандартом [9] на сьогодні характеристики якості залежать від 31 підхарактеристики – рис. 1. Підхарактеристика

якості ПЗ виражається середнім зваженим арифметичним показником з урахуванням значень атрибутів, що оцінюють цю підхарактеристику та підлягають точному опису та вимірюванню, а також коефіцієнтів їхньої вагомості. Атрибути якості ПЗ визначені та описані в стандарті ISO 25023 [10]. Аналіз стандарту [10] дав можливість визначити залежність підхарактеристик якості від 203 атрибутів, але від 138 різних атрибутів.

*Моделі характеристик якості програмного забезпечення.* Якість ПЗ ( $Q$ ), відповідно до стандарту [9], є функцією від восьми основних характеристик якості ( $QCH = \{qch_1, \dots, qch_8\}$ ). Множину характеристик якості ПЗ запишемо у вигляді  $QCH = \{Fs, Pe, Ub, Rb, Cb, Scr, Mb, Pb\}$ , де:  $Fs$  – функційна придатність,  $Pe$  – ефективність,  $Ub$  – зручність використання,  $Rb$  – надійність,  $Cb$  – сумісність,  $Scr$  – захищеність,  $Mb$  – супроводжуваність,  $Pb$  – можливість переносу. Вказані характеристики якості можуть приймати значення з певного діапазону. Тоді якість ПЗ є функцією від цих характеристик:

$$Q = f(Fs, Pe, Ub, Rb, Cb, Scr, Mb, Pb). \quad (1)$$

Кожна з вищевказаних характеристик якості є функцією від декількох підхарактеристик якості:

$$Fs = f_1(qsch_1, qsch_2, qsch_3) = f_1(FCom, FCor, FAppr), \quad (2)$$

де  $FCom$  – функційна повнота,  $FCor$  – функційна коректність,  $FAppr$  – функційна доцільність;

$$Pe = f_2(qsch_4, qsch_5, qsch_6) = f_2(Tb, Ru, Cc), \quad (3)$$

де  $Tb$  – поведінка у часі,  $Ru$  – поведінка ресурсів,  $Cc$  – ємність (місткість);

$$Ub = f_3(qsch_7, \dots, qsch_{12}) = f_3(Ar, Lb, Ob, Uep, Uia, Ab), \quad (4)$$

де  $Ar$  – розпізнавання доцільності,  $Lb$  – можливість вивчення,  $Ob$  – керуваність,  $Uep$  – захист від помилок користувача,  $Uia$  – естетичність інтерфейсу користувача,  $Ab$  – доступність;

$$Rb = f_4(qsch_{13}, \dots, qsch_{16}) = f_4(Mat, Avb, Ft, Rcv), \quad (5)$$

де  $Mat$  – зрілість,  $Avb$  – наявність (доступність),  $Ft$  – відмовостійкість,  $Rcv$  – відновлюваність;

$$Cb = f_5(qsch_{17}, qsch_{18}) = f_5(Ce, Ib), \quad (6)$$

де  $Ce$  – співіснування,  $Ib$  – взаємодія;

$$Scr = f_6(qsch_{19}, \dots, qsch_{23}) = f_6(Conf, Int, Nr, Acb, Auth), \quad (7)$$

де  $Conf$  – конфіденційність,  $Int$  – цілісність,  $Nr$  – невідхилюваність,  $Acb$  – підзвітність,  $Auth$  – ідентичність;

$$Mb = f_7(qsch_{24}, \dots, qsch_{28}) = f_7(Mod, Rub, Anb, Mdfb, Tsb), \quad (8)$$

де  $Mod$  – модульність,  $Rub$  – повторне використання,  $Anb$  – аналізованість,  $Mdfb$  – модифікованість,  $Tsb$  – тестованість;

$$Pb = f_8(qsch_{29}, qsch_{30}, qsch_{31}) = f_8(Adb, Inb, Rpb), \quad (9)$$

де  $Adb$  – адаптованість,  $Inb$  – можливість інсталяції,  $Rpb$  – можливість заміни.

Таким чином, множина основних підхарактеристик якості ПЗ має вигляд:

$$QSCH = \{qsch_1, \dots, qsch_{31}\} = \left\{ \begin{array}{l} FCom, FCor, FAppr, Tb, Ru, Cc, Ar, Lb, Ob, Uep, Uia, \\ Ab, Mat, Avb, Ft, Rcv, Ce, Ib, Conf, Int, Nr, Acb, Auth, \\ Mod, Rub, Anb, Mdfb, Tsb, Adb, Inb, Rpb \end{array} \right\}$$

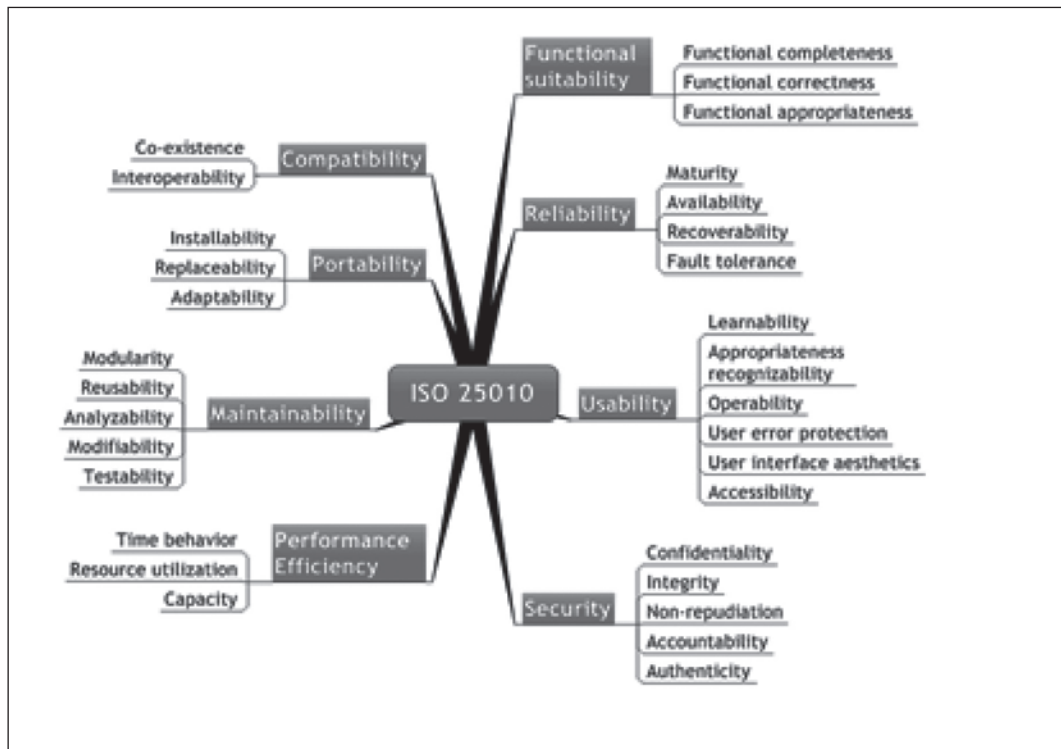


Рис. 1. Якість ПЗ за стандартом ISO/IEC 25010:2011 [9]

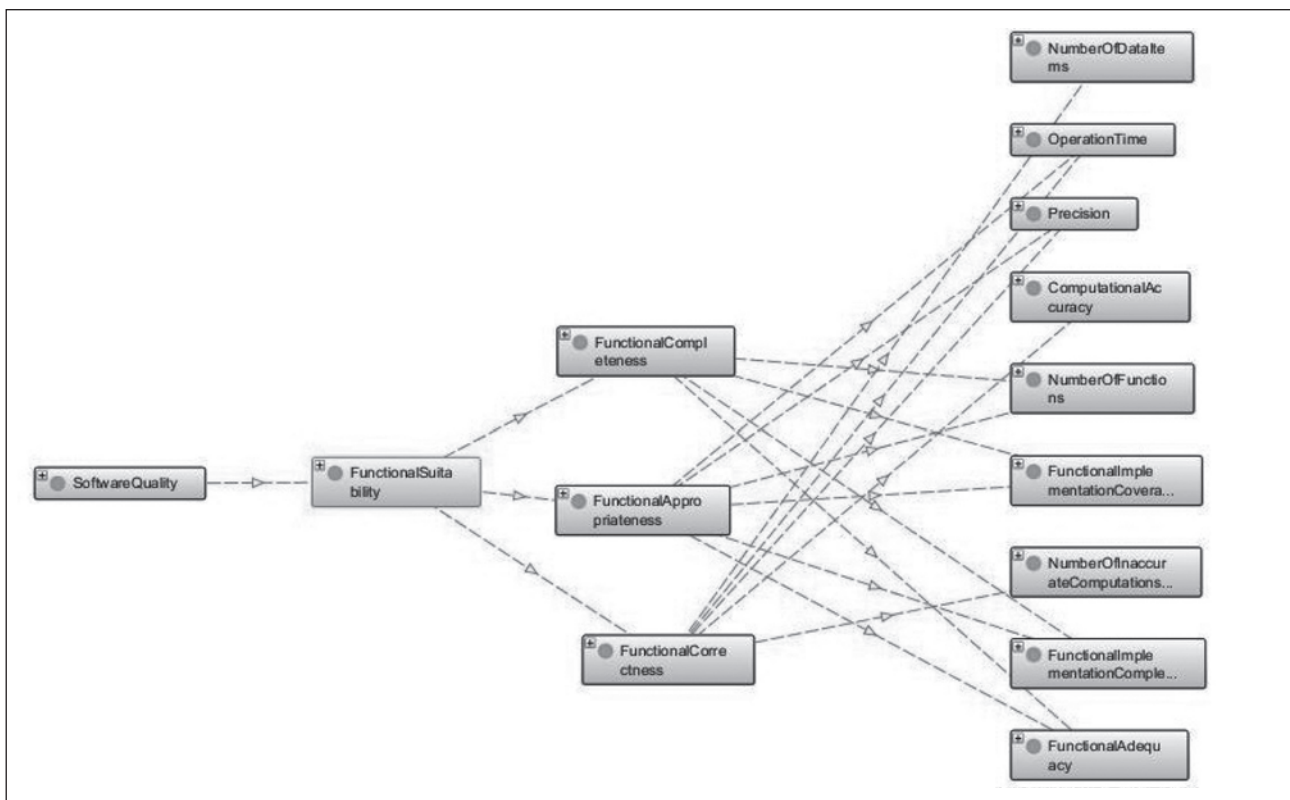


Рис. 2. Складова онтології для Функційної придатності

Водночас кожна підхарактеристика якості ПЗ є функцією певних атрибутів якості ПЗ, описаних у стандарті [10]. Множину атрибутів якості ПЗ представимо як:  $QMS = \{qms_1, \dots, qms_{138}\}$ .

У [11] побудовано онтологію предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Якість ПЗ»), яку утворюють складові частини для: Функційної придатності (рис. 2), Сумісності, Ефективності, Можливості переносу, Зручності використання, Надійності, Захищеності, Супроводжуваності.

Якість ПЗ може бути виражена не тільки функцією від підхарактеристик якості, але й середнім зваженим арифметичним показником з урахуванням значень атрибутів та коефіцієнтів їхньої вагомості. Отже, на основі формул (1)-(9), представимо якість програмного забезпечення у наступному теоретико-множинному вигляді:

$$\begin{aligned}
 Q &= f(Fs, Pe, Ub, Rb, Cb, Scr, Mb, Pb) = \\
 &= f(f_1(FCom, FCor, FAppr), \\
 &f_2(Tb, Ru, Cc), f_3(Ar, Lb, Ob, Uep, Uia, Ab), \\
 &f_4(Mat, Avb, Ft, Rcv), f_5(Ce, Ib), \\
 &f_6(Conf, Int, Nr, Acb, Auth), \\
 &f_7(Mod, Rub, Anb, Mdfb, Tsb), \\
 &f_8(Adb, Inb, Rpb)) = \phi(w_i^m \cdot qms_i)
 \end{aligned} \tag{10}$$

де  $w_i^m$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го атрибуту якості ПЗ,  $i = 1, 138$ ,  $qms_i \in QMS$ .

*Аналіз характеристик CodeStyle.* Взагалі, CodeStyle – це зовнішній вигляд коду. Стиль коду може бути надто детальним (наприклад, керівництво щодо стилю Java Script від Google) або більш загальним (як рекомендації щодо стилю ядра jQuery) [12]. Основною перевагою керівництв щодо стилю є те, що, знаючи, як повинен виглядати правильний код, набагато легше розпізнати неправильний код та потенційні помилки до того, як вони проявляться. CodeStyle дає рекомендації щодо певного візуального оформлення елементів програми з метою збільшення інформативності коду для людини. CodeStyle використовується для швидкого сприйняття коду, для запобігання помилок в коді, для швидкого написання коду, а також для зменшення часу та зусиль, витрачених на розроблення ПЗ.

Розглянемо, які ж характеристики декларує CodeStyle: 1) консистентність (однаковість форматування) коду –  $cs$ ; 2) гарний синтаксис –  $gs$ ; 3) перевірка типів –  $tv$ ; 4) коментування коду –  $scot$ ; 5) зрозуміле та правильне іменування ідентифікаторів змінних та функцій (наприклад, запис типу змінної в її ідентифікаторі – за угорською нотацією) –  $scn$ ; 6) мінімі-

зація (оптимізація) розміру коду (наприклад, за допомогою використання лаконічних конструкцій коду) –  $mcs$ ; 7) мінімізація вкладених операторів розгалуження та циклів –  $mno$ ; 8) мінімізація циклічних залежностей між пакетами –  $mcd$ ; 9) висока зв'язність всередині методів –  $hch$ ; 10) одноманіття коду (подібний код легше сприймається) –  $mngc$ ; 11) «розрядка» коду (за допомогою пробілів) –  $dcc$ ; 12) застосування правила вертикалі (частини одного запиту розташовуються на одному відступі, на одній вертикалі) –  $arv$ ; 13) використання операторних дужок «початок-кінець» –  $uob$ ; 14) коректна розстановка дужок (некоректно поставлені дужки призводять до логічних помилок) –  $cpb$ ; 15) відсутність дублювання коду –  $ndc$ ; 16) розбиття (структурування) коду на відносно незалежні блоки –  $scb$ ; 17) документування коду (документація = читабельність, простота підтримки та використання) –  $docc$ ; 18) групування (узгаляння сусідніх елементів коду) та організація коду –  $goc$ ; 19) мінімізація навантаження на пам'ять та зір при читанні програми –  $mmvl$ ; 20) лаконічні та зрозумілі мітки елементів керування –  $lucl$ ; 21) послідовність коду –  $csq$ ; 22) зрозумілість (ясність, спрощення сприйняття) програмного коду –  $clc$ ; 23) гарантування легкості супроводу –  $gem$ ; 24) спрощення процесу внесення подальших змін (легкість модифікації) –  $em$ ; 25) покриття коду –  $scov$ ; 26) очевидність (візуалізація) помилок –  $eo$ ; 27) попередження помилок –  $ep$ ; 28) безаварійне розгортання ПЗ –  $tfsd$ ; 29) забезпечення стійкості програми –  $pss$ ; 30) забезпечення можливості підтримки проекту декількома розробниками –  $psd$ .

*Визначення впливу характеристик CodeStyle на характеристики якості програмного забезпечення.* Проаналізувавши характеристики CodeStyle, можна зробити висновок про вплив певної характеристики CodeStyle на той чи інший атрибут якості. Побудуємо множину кортежів

$$CSCH = \{ \langle csch_i, \{qscm_k | k = 1..138\} \rangle, \dots, \langle csch_{30}, \{qscm_k | k = 1..138\} \rangle \}$$

де  $csch_i$  –  $i$ -та характеристика CodeStyle (з вищеперерахованих),  $i = 1, 30$ ,  $\{qscm_k | k = 1..138\}$  – підмножина атрибутів якості, на які впливає  $i$ -та характеристика CodeStyle (тобто  $qscm_k \in QMS$ ), ця підмножина може бути порожньою множиною – в разі, якщо  $i$ -та характеристика CodeStyle не впливає на жоден атрибут якості.

Тоді:



```

CSCH = { < cc,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< gs,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< tv,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Niore,Ntre,Mote,Nio,Ndfe,De } > ,
< ccom,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Notut,Efud,Cmptud } > ,
< ccn,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< mcs,{ Ps,Nolcd } > ,
< mno,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr } > ,
< mcd,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Ntre,Mote,Ndfe,De } > ,
< hch,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Ntre,Mote,Ndfe,De } > ,
< mngc,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< dcc,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< arv,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< uob,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs } > ,
< cpb,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr } > ,
< ndc,{ Ps,Nolcd } > ,
< seb,{ Nof,Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Ndfe,De } > ,
< docc,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Notut,Efud,Cmptud,Nuec,
Neusc,Nace,Disu,Tlrb,Nio,Ea,Nso,Nis,Eoi } > ,
< goc,{ Nof,Ndfe,De } > ,
< mmvl,{ Tlrb } > ,
< lucl,{ Ps,Nolcd,Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Tlrb } > ,
< csq,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Tlrb } > ,
< clc,{ Fusb,Usbio,Cmptd,Nac,Neum,Facs,Tlrb,Ntbn,Ntam } > ,
< gem,{ Disu,Tlrb,Ntbn,Ntam,Ea,Nso,Nis,Eoi } > ,
< em,{ Disu,Tlrb,Ntbn,Ntam,Ea,Nso,Nis,Eoi } > ,
< ccov,{ Fic } > ,
< eo,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Nuec,Neusc,Nace,Nio } > ,
< ep,{ Nofl,Noft,Ftr,Flr,Nbr,Nuec,Neusc,Nace,Disu,Nio } > ,
< tfsd,{ Nbr,Disu,Ea,Nso,Nis,Eoi } > ,
< pss,{ Disu,Ea,Nso,Nis,Eoi } > ,
< psd,{ Tlrb } > }

```

де *Fic* – покриття функційної реалізації, *Ps* – розмір програмного продукту, *Nofl* – кількість збоїв, *Noft* – кількість відмов, *Ftr* – усунення відмов, *Flr* – усунення збоїв, *Nbr* – кількість аварій, *Niore* – кількість помилок введення-виведення, *Ntre* – кількість помилок передачі даних, *Mote* – середня поява помилок передачі даних, *Nolcd* – безпосередня кількість рядків коду, *Nof* – кількість функцій, *Fusb* – зрозумілість функцій, *Usbio* – зрозумілість входів та виходів, *Cmptd* – повнота опису, *Nac* – кількість спроб налаштування, *Neum* – кількість легко зрозумілих повідомлень, *Facs* – фізична доступність, *Notut* – кількість тьюторіалів, *Efud* – ефективність документації користувача, *Cmptud* – повнота документації користувача, *Nuec* – кількість помилок користувача або змін, *Neusc* – кількість помилок, які користувач успішно виправляє, *Nace* – кількість спроб корекції помилок, *Disu* – ступінь підвищення задоволеності користувача, *Tlrb* – пристосованість, *Ntbn* – кількість проблем до модифікації, *Ntam* – кількість проблем після модифікації, *Nio* – кількість недозволених операцій, *Ndfe* – кількість форматів даних для обміну, *De* – обмін даними, *Ea* – адаптованість до навко-

лишнього середовища, *Nso* – кількість операцій налаштування, *Nis* – кількість етапів інсталяції, *Eoi* – простота інсталяції.

Аналіз причинно-наслідкових зв'язків у розробленій в [11] онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Якість ПЗ») та вищенаведеної моделі якості ПЗ (формула (10)) дала можливість на основі отриманих атрибутів визначити підхарактеристики та характеристики, на які впливають характеристики CodeStyle: підхарактеристики «функційна повнота», «функційна доцільність» характеристики «Функційна придатність»; підхарактеристики «зрілість», «відмовостійкість», «відновлюваність» характеристики «Надійність»; підхарактеристика «поведінка ресурсів» характеристики «Ефективність»; підхарактеристики «розпізнавання доцільності», «можливість вивчення», «керованість», «захист від помилок користувача», «естетичність інтерфейсу користувача» характеристики «Зручність використання»; підхарактеристики «модульність», «повторне використання», «аналізованість», «модифікованість» характеристики «Супроводжуваність»; підхарактеристики «конфіденційність», «цілісність» характеристики «Захищеність»; підхарактеристики «співіснування», «взаємодія» характеристики «Сумісність»; підхарактеристики «адаптованість», «можливість інсталяції», «можливість заміни» характеристики «Можливість переносу».

**Висновки.** Внутрішня якість ПЗ (як написано код) не повинна поступатись зовнішній якості (який функціонал реалізовано). Внутрішня якість забезпечує: зрозумілість (що допомагає легко виконати фіксацію помилок і легше включатись в роботу новим членам команди, легко підтримувати код); зменшення роботи в перспективі (кількість помилок зменшується, кількість часу на розбір коду скорочується, полегшується підтримка коду); адаптованість (вимоги замовників в сучасному світі змінюються часто і реагувати на зміни потрібно швидко).

Основною метою прийняття та використання CodeStyle є спрощення сприйняття програмного коду людиною, мінімізація навантаження на пам'ять та зір при читанні програми, досягнення такого стану, коли програміст достатньої кваліфікації міг би дати висновки про функцію, яку виконує конкретна ділянка коду, а в ідеалі – також визначити його коректність, вивчивши тільки цю ділянку коду, або мінімально вивчивши інші частини програми. Іншими словами, сенс коду, написаного з використанням CodeStyle, повинен

буди зрозумілим із самого коду без необхідності вивчати його контекст.

Проведений аналіз досліджень та публікацій показав, що читабельність та зрозумілість коду, а також його зовнішній вигляд, які значною мірою визначає CodeStyle, впливають на якість ПЗ. У статті проведено визначення впливу характеристик CodeStyle на характеристики якості ПЗ.

Проведене дослідження показало, що кожна характеристика CodeStyle впливає щонайменше на один атрибут якості. Крім цього, проведене дослідження дало можливість зробити висновок про те, що характеристики CodeStyle впливають на 35 (зі 138) атрибутів, на 22 (з 31) характеристики та на всі 8 характеристик якості ПЗ, а не тільки на зручність використання, як могло б здатись на перший погляд.

#### Список літератури:

1. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс. Москва, 2013. 896 с.
2. IEEE 1028-2008. IEEE Standard for Software Reviews and Audits. Geneva, 2008. 53 p.
3. Абельсон Х., Сасман Дж. Структура и интерпретация компьютерных программ. Москва, 2010. 608 с.
4. Kienle H. M., Kraft J., Nolte T. System-specific static code analyses: a case study in the complex embedded systems domain. *Software Quality Journal*. 2012. Vol. 2. Issue 2. Pp. 337–367.
5. Kemerer Ch. F., Paulk M. C. The Impact of Design and Code Reviews on Software Quality: An Empirical Study Based on PSP Data. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2009. Vol. 35. Issue 4. Pp. 534–550.
6. Lian XL., Fakhry A., Zhang L., Cleland-Huang J. Leveraging Traceability to Reveal the Tapestry of Quality Concerns in Source Code. *Software and Systems Traceability: Proceedings of 2015 IEEE/ACM 8th International Symposium*. (Florence, May 17, 2015). Florence (Italy), 2015. Pp. 50–56.
7. Khomh F. SQUAD: Software Quality Understanding through the Analysis of Design. *Reverse Engineering: Proceedings of 16th Working Conference*. (Lille, October 13-16, 2009). Lille (France), 2009. Pp. 303–306.
8. Sidorova N. N. Ontology-Driven Method Using Programming Styles. *Інженерія програмного забезпечення*. 2015. № 2. С. 19–28.
9. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models. Geneva, 2011. 34 p.
10. ISO 25023:2016. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality. Geneva, 2016. 45 p.
11. T. Hovorushchenko, O. Pomorova. Ontological Approach to the Assessment of Information Sufficiency for Software Quality Determination. *CEUR-WS*. 2016. Vol.1614. Pp. 332–348.
12. Zakas N. C. Why Coding Style Matters. URL: <https://coding.smashingmagazine.com/2012/10/why-coding-style-matters/> (дата звернення: 25.01.2018).

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК CODESTYLE НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*В статье исследуется влияние характеристик CodeStyle на характеристики качества программного обеспечения. Проведенное исследование позволило сделать вывод о том, что характеристики CodeStyle влияют на все восемь характеристик качества ПО, а не только на удобство его использования.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение (ПО), качество ПО, характеристики качества ПО, стандарт ISO 25010:2011, CodeStyle.

#### IDENTIFYING THE EFFECT OF CODESTYLE CHARACTERISTICS ON SOFTWARE QUALITY CHARACTERISTICS

*The article examines the impact of CodeStyle characteristics on software quality characteristics. The conducted research provide the conclusion that CodeStyle characteristics effect on all eight software quality characteristics, and not just of its usability.*

**Key words:** software, software quality, characteristics of software quality, standard ISO 25010:2011, CodeStyle.

Грушко С.С.

Запорізький національний технічний університет

## КЛАСИФІКАЦІЯ СТРУКТУР СУМІЩЕНИХ МІКРОПРОГРАМНИХ АВТОМАТІВ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ У БАЗИСІ FPGA

*Проаналізовані способи реалізації логічної схеми суміщеного мікропрограмного автомата (СМПА) у базисі FPGA з урахуванням особливостей внутрішньої структури мікросхем, а також відповідні способи оптимізації схем. Запропонована класифікація структур СМПА за критерієм способу використання ресурсів мікросхеми для розташування окремих блоків логічної схеми. Наведені результати досліджень розглянутих структур СМПА, на підставі чого визначені умови доцільності використання для кожної структури.*

**Ключові слова:** мікропрограмний пристрій управління, суміщений мікропрограмний автомат, LUT, вбудовані блоки пам'яті, FPGA, ПЛІС.

**Постановка проблеми.** Пристрій керування є однією з найважливіших частин будь-якої сучасної цифрової системи (далі – ЦС) [1]. Що стосується способів проектування реалізації алгоритмів керування, то зважаючи на те, що цифрові системи, включно із керуючою частиною, стають дедалі складнішими, наряду із широко відомими моделями реалізації алгоритмів керування у вигляді автоматів Мілі і Мура, актуальним у практиці проектування стає спосіб подання керуючого алгоритму у вигляді суміщеного мікропрограмного автомата (далі – СМПА) [2].

У зв'язку з технологічним прогресом в області виготовлення мікросхем, останнім часом набуває поширення практика реалізації окремих функціональних блоків ЦС, або всієї системи у цілому на програмованих логічних інтегральних схемах (далі – ПЛІС), які є найбільш широко використовуваним базисом у даний час. Архітектурною особливістю ПЛІС є внутрішня матрична структура, основою якої служать макрокомірки PLA/PAL для CPLD або мікрокомірки типу LUT для FPGA. Внутрішня передача сигналів забезпечується матрицею між'єднань [3; 4]. Для ефективного використання внутрішніх ресурсів ПЛІС з метою зменшення апаратних витрат [1; 2] використовуються різні способи оптимізації, що охоплюють здебільшого моделі Мілі та Мура. Аналіз літературних джерел показав, що кількість публікацій щодо СМПА є дуже обмеженою. Це дає підстави для більш детального аналізу актуальної задачі оптимізації схем пристроїв керування, поданих моделями суміщених мікропрограмних автоматів.

### Аналіз базових структур СМПА

СМПА являє собою керуючий автомат, що подається у вигляді пристрою з одним зовнішнім входом, на який надходять вхідні сигнали  $X$ , і двома зовнішніми виходами, один з яких реалізує функцію виходу  $Y^1$ , характерну для автомата Мілі, а інший – функцію виходу  $Y^2$ , характерну для автомата Мура [5, с. 27]. Крім того, використовуються сигнали внутрішнього зворотного зв'язку для організації переходів автомата із поточного стану у наступний.

Математична модель СМПА докладно описана у публікаціях [1; 5].

Розглянемо компоненти моделі, які мають безпосереднє відношення до даних досліджень.

Функція  $\delta$  служить для визначення стану переходу  $a_s \in A$  у залежності від поточного стану  $a_m \in A$  і вектору вхідних змінних:

$$a_s = \delta(a_m X). \quad (1)$$

Множина вихідних змінних  $Y = Y^1 \cup Y^2$  складається з  $N_1 = |Y^1|$  змінних автомата Мілі і  $N_2 = |Y^2|$  змінних автомата Мура. При цьому  $Y^1 \cap Y^2 = \emptyset$  та  $N^1 + N^2 = N$ , де  $N$  – загальна кількість вихідних сигналів СМПА.

Функція  $\lambda_1$  визначає вихідні змінні  $y_n \in Y^1$ :

$$y_n = \lambda_1(a_m X). \quad (2)$$

Функція  $\lambda_2$  визначає вихідні змінні  $y_n \in Y^2$ :

$$y_n = \lambda_2(a_m X). \quad (3)$$

Розглянемо структуру СМПА при реалізації його у базисі ПЛІС. Для кодування станів  $a_m \in A$  використовуються внутрішні змінні  $T_r \in T$ , де  $|T| = R$ . Розрядність внутрішніх змінних визначається як:

$$R = \lceil \log_2 M \rceil, \quad (4)$$

де  $M$  – число станів автомата [1].

Для збереження кодів станів використовується регістр (RG), що містить  $R$  тригерів. Як правило, при синтезі у базисі ПЛІС використовуються D-тригери [3]. Для зміни вмісту RG необхідно задати функції збудження  $D_r \in \Phi$ , де  $\Phi = \{D_r, \dots, D_r\}$ . Зміна вмісту RG відбувається за сигналом синхронізації Clock. Для встановлення у RG коду стану  $a_i \in A$  використовується імпульс Start.

У загальному випадку СМПА описується системами [1]:

$$\Phi = \Phi(T, X); \quad (5)$$

$$Y^1 = Y^1(T, X); \quad (6)$$

$$Y^2 = Y^2(T). \quad (7)$$

Система (5) визначає функцію (1), система (6) – функцію (2) і система (7) – функцію (3).

Аналіз систем (5) – (7) показує, що функції  $\Phi$  і  $Y^1$  залежать від одних і тих самих змінних. У системі (7) відсутня залежність вихідних сигналів від вхідних змінних  $x_i \in X$ , де  $|X|=L$ . Розглянемо уявлення СМПА у вигляді композиції двох комбінаційних схем (KC1 і KC2) і регістра RG (рис. 1).

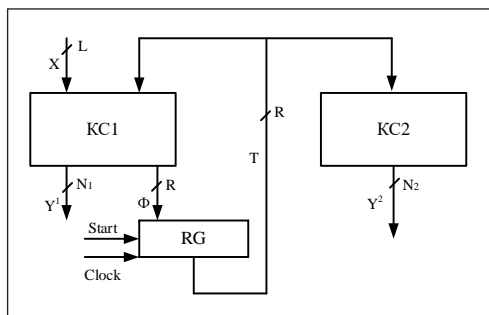


Рис. 1. Узагальнена базова структура суміщеного автомата

Далі розглянемо, яким чином можна реалізувати узагальнену структуру СМПА (рис. 1) з урахуванням особливостей матричної внутрішньої архітектури мікросхем ПЛІС.

Мікросхеми FPGA є поширеною платформою для реалізації цифрових пристроїв і зокрема пристроїв керування. Розподіл логічної схеми пристрою між структурними елементами мікросхеми виконується внутрішніми ресурсами систем автоматизованого проектування (далі – САПР). Оптимізація розташування логічної схеми ЦС виконується за алгоритмами, що закладені у САПР і, з огляду на результати проведених досліджень, має досить невисоку ефективність. Тому виникає задача оптимального розташування функціональних блоків схеми СМПА на ресурсах ПЛІС типу

FPGA, рішення якої можна було б закласти ще на етапі проектування схеми.

З [3 – 6] відомо, що для реалізації схеми СМПА можна використовувати три компоненти FPGA: елементи табличного типу LUT (Look Up Table), вбудовані блоки пам'яті ЕВМ (Embedded Memory Block) і програмовані міжз'єднання [5; 6; 7].

Елементи LUT – це оперативні запам'ятовуючі пристрої (далі – ОЗП), кожний з яких має  $S$  входів і один вихід. При цьому число входів визначає максимальну кількість аргументів булевої функції, яка може бути реалізована на одному LUT елементі. Як правило, число входів  $S \leq 6$  [3; 4; 7].

Блоки ЕВМ – це пам'ять на базі ОЗП, що має  $S_A$  входів і  $t_F$  виходів. Загальна ємність блоків є константою і визначається наступним виразом:

$$V_0 = 2^{S_A} \cdot t_F \quad (8)$$

Параметри  $S_A$  і  $t_F$  можуть бути обрані зі стандартних пар виду  $\langle S_A, t_F \rangle$  що приведені у технічній документації до мікросхем. Зазвичай це  $\langle 256, 8 \rangle$ ,  $\langle 512, 4 \rangle$ ,  $\langle 1024, 2 \rangle$ ,  $\langle 2048, 1 \rangle$  [3, 4, 7].

Введемо термін LUTer для схеми, що складається з елементів LUT і EMBer для схеми, що складається з елементів EMB.

Структуру СМПА, в якій при реалізації блоків KC1 і KC2 використовуються тільки елементи LUT, назвемо L-based структурою СМПА.

E-based структурою пропонується називати структуру, в якій блоки KC1 і KC2 реалізуються на елементах вбудованої пам'яті – EMB.

В обох випадках регістр RG в явному вигляді відсутній. У L-based моделі тригери розподілені між логічними елементами, в які входять елементи LUT. В E-based моделі використовується можливість синхронізації блоків EMB [2; 3; 4; 7].

Недоліком L-based і E-based моделей є надмірність реалізації для практичних прикладів. Це означає, що для тривіальної (однорівневої) реалізації схем автоматів реальної складності [1] потрібно більше логічних елементів, ніж для багаторівневих структур [2].

Для зменшення числа елементів у логічній схемі СМПА пропонується використовувати принцип гетерогенної реалізації [2]. Очевидно, що зменшення числа елементів веде до зменшення площі кристала FPGA, яку займає схема СМПА.

Враховуючи, що системи (5, 6) мають однакові аргументи, їх доцільно реалізувати на однотипних елементах [6]. Якщо використовувати блоки EMB для реалізації KC1 і елементи LUT для побудови KC2, отримаємо структуру, яку будемо називати EL-based структурою СМПА.

При реалізації схем СМПА у базисі FPGA, з огляду на практичні результати досліджень автора, також пропонується структура, в якій елементи LUT використовуються для реалізації блоку KC1, а блоки EMB – для реалізації KC2. Будемо називати таку модель LE-based структурою СМПА.

Отже, розглянуто чотири структури СМПА (L-based, E-based, LE-based та EL-based), які можуть служити як базові.

Використання базових структур та способів їх оптимізації залежать від параметрів алгоритмів, що реалізуються на ПЛІС, а також від технічних характеристик мікросхем, що для цього використовуються.

**Оптимізовані структури СМПА**

При використанні базових моделей можуть виникати випадки, коли кількість вхідних сигналів більша за кількість входів матричної структури ПЛІС.

Для оптимізації кількості входів автомата пропонується використання методу заміни логічних умов [8].

Нехай  $X(a_m) \subseteq X$  – множина логічних умов, тобто вхідних змінних, що визначають переходи зі стану  $a_m \in A$ . Знайдемо параметр

$$G = \max(|x(a_1)|, \dots, |x(a_m)|). \quad (9)$$

Параметр G визначає множину додаткових змінних  $P = \{P_1, \dots, P_G\}$ , яка може замінити множину X [2]. Тоді структурна схема СМПА прийме вигляд G-структури, поданий на рис. 2.

У такій моделі блок KC1 виконує перетворення  $X \rightarrow P$ . Це призводить до реалізації системи

$$P = P(T, X). \quad (10)$$

Блок KC2 реалізує системи функцій (5, 6), а блок KC3 – систему функцій (7).

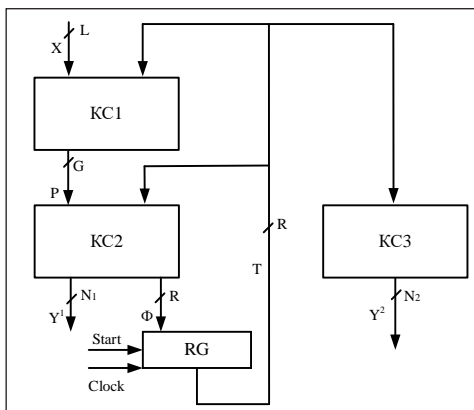


Рис. 2. G-структура СМПА

Аналіз [9] показує, що  $G \ll L$ . Це значно розширює круг автоматів, що можуть бути реалізовані у базисі FPGA.

Для подальшого зменшення кількості термів у системі функцій збудження СМПА пропонується використовувати метод псевдоеквівалентних станів (ПЕС) [10].

При використанні цього методу у ГСА визначаються так звані псевдоеквівалентні стани (вершини, що позначені цими станами, зв'язані зі входом однієї і тієї ж вершини ГСА), виконується формування класів псевдоеквівалентності та їх кодування.

Кількість класів ПЕС завжди менша, ніж кількість станів автомата, тому розрядність коду класу менша за розрядність коду станів. При застосуванні цього методу отримуємо В-структуру СМПА, подану на рис. 3.

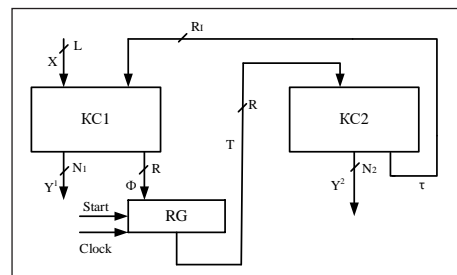


Рис. 3. В-структура СМПА

В автоматі В-структури (рис. 3) KC1 реалізує системи функцій (5, 6). Блок KC2 реалізує системи (7) і (11):

$$\tau = \tau(T). \quad (11)$$

Комплексне використання методів заміни вхідних змінних і ПЕС породжує GB-структуру СМПА, подану на рис. 4. При цьому має значення виконання умов  $R_1 < R$  і  $G < L$ .

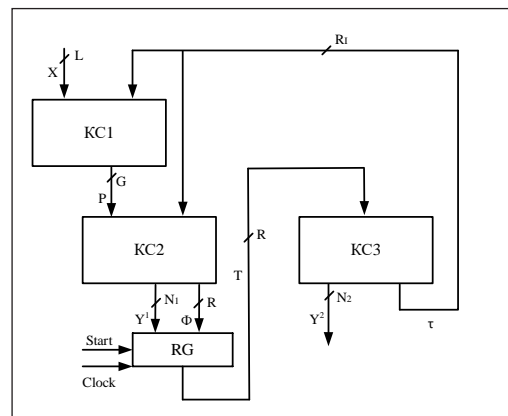


Рис. 4. GB-структура СМПА

Використання такого перетворення структурної схеми СМПА забезпечує суттєве зменшення розрядності вхідного коду, а також зменшення числа термінів у системі функцій збудження

пам'яті внаслідок зменшення кількості строк («стискання») прямої структурної таблиці (ПСТ).

Класифікація структур СМПА за способом використання ресурсів мікросхеми та за способом оптимізації у базисі FPGA наведена на рис. 5.

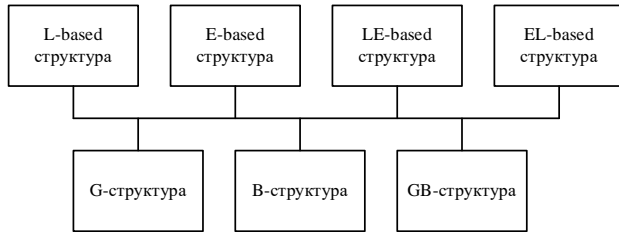


Рис. 5. Класифікація структур СМПА

Всі похідні структури пов'язані між собою загальними базисними, а вибір тієї чи іншої похідної структури виконується на умовах доцільності її використання.

**Дослідження та висновки щодо вибору оптимізованої структури**

На практиці автором було проведено дослідження структур суміщених керуючих автоматів у базисі FPGA. Практичне дослідження виконувалось для мікросхем фірм Xilinx, Altera і Microsemi. Як приклад було проведено порівняння L-based і LE-based моделей, як найбільш зручних у розробці. Дослідження проводились для СМПА з параметрами  $X=101$ ,  $Y^1=6$ ,  $Y^2=16$ .

Згідно з отриманими даними, для сімейств мікросхем фірми Altera при використанні LE-based структури система (7) реалізується на блоці EMB і кількість задіяних елементів LUT при цьому зменшується. Ефективність використання цієї структури залежить від співвідношення кількості функцій у системах  $Y_1$  і  $Y_2$ .

Дослідження методів оптимізації проводилися для L-based структури як найбільш місткої. Результати досліджень для мікросхем різних сімейств популярних фірм виробників, де вказана кількість елементів LUT при використанні різних структур СМПА, наведені на рис. 6–7.

Аналіз результатів доводить ефективність застосування даних методів і дозволяє оцінити ступінь редуції. На діаграмах рис. 6 і рис. 7 видно, що застосування методу заміни вхідних змінних (G-структура) дозволяє зменшити площу у середньому на 36%, 4% та 14% для мікросхем фірми Xilinx, Altera і Microsemi відповідно. Комплексне використання методів структурної редуції (GB-структура) дає зменшення займаної площі у середньому на 49%, 24% та 20% для мікросхем фірми Xilinx, Altera і Microsemi відповідно.

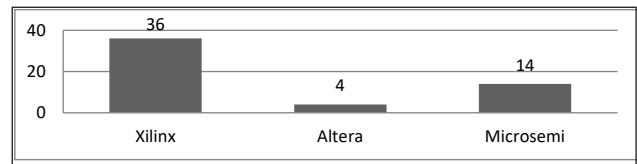


Рис. 6. Зменшення займаної площі FPGA при використанні G-структури на основі L-based моделі, %

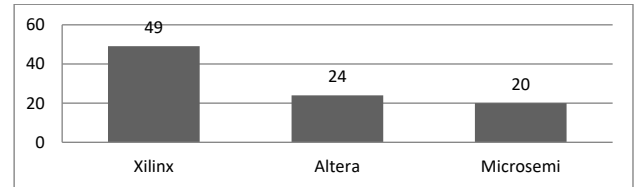


Рис. 7. Зменшення займаної площі FPGA при використанні GB-структури СМПА на основі L-based моделі, %

На підставі аналізу результатів досліджень можна зробити наступні висновки щодо доцільності використання тієї чи іншої структури СМПА.

L-based структуру доцільно використовувати для застарілих моделей FPGA, що не мають вбудованої пам'яті, або коли блоки вбудованої пам'яті використовуються для інших задач. Якщо у мікросхемі є вільні блоки EMB, то вибір L-based структури може бути зроблений при  $2^{L+R}(N_1+R) \ll V_0$ ;  $2^R N_2 \ll V_0$ . Тобто і при реалізації KC1, і при реалізації KC2 на блоці EMBer (рис.1) могла би використовуватись лише незначна частина блоку, але його вже не можна було б використати для виконання інших задач, тому робиться вибір на користь L-based структури.

Перевагами L-based структури є бюджетність реалізації проекту у FPGA та можливість використовувати вільні блоки EMB для інших частин проекту.

Використання E-based структури має сенс, коли елементи LUT зайняті іншою частиною проекту, а блоки EMB не використовуються інакше.

Недоліками цієї структури є трудоємність програмної реалізації KC1 через велику таблицю, в якій необхідно вказати значення вихідних функцій при всіх можливих варіантах вхідних умов (максимальний розмір таблиці  $S_{table}^{EMB} = 2^{L2^R}$ ).

Для зменшення числа елементів у схемі СМПА використовується принцип гетерогенної реалізації, поданий EL-based і LE-based структурами.

EL-based структура має переваги, коли є незадіяні блоки EMB, що дозволяють звільняти елементи LUT для виконання інших задач. Така реалізація

лізація можлива при  $2^{L+R}(N_1 + R) \leq V_0$ ,  $t_f \geq N_1 + R$ , а найбільшу ефективність має при умові  $N_1 \gg N_2$ , коли більша частина алгоритму виконується блоком ЕМВег, а менша розподілена по елементах LUT.

При програмній реалізації цієї структури розробник також стикається із необхідністю заповнення великої таблиці блоку ЕМВег. Якщо така реалізація все ж таки обрана, але порушується умова  $2^{L+R}(N_1 + R) \leq V_0$ , то є доцільним оптимізація структури методом заміни логічних умов при  $S_A \geq G + R$  або методом ПЕС при  $S_A \geq L + R_f$ . Найбільшу ефективність при зменшенні вхідних сигналів блоку ЕМВег дає комплексне використання цих методів. Умовою його використання є вираз  $S_A \geq G + R_f$ .

Гетерогенна реалізація схеми СМПА у вигляді LE-based структури також можлива при наявності вільних блоків ЕМВ. Для її використання необхідне виконання умов  $2^k N_2 < V_0$ ,  $t_f \geq N_2$ . Максимальна ефективність при використанні цієї структури досягається при  $N_1 \ll N_2$ . Завдяки тому, що

блок ЕМВег реалізує систему (7), таблиця, що описує вміст блоку, не містить опису вхідних сигналів автомата і значно скорочується порівняно з іншими структурами.

**Висновки.** При проектуванні схем суміщених мікропрограмних автоматів можна використовувати різні способи розташування частин логічної схеми автомата на внутрішніх ресурсах міросхеми FPGA. Відповідно до обраного способу запропонована така класифікація структур СМПА: L-based, E-based, LE-based та EL-based структури – базові; G-, B- та GB-структури – оптимізовані за критерієм зменшення апаратних витрат.

Напрямок подальшої наукової роботи є вивчення та практичне дослідження методів структурної редукції, спрямованих на зменшення кількості вихідних сигналів схеми, а також дослідження ефективності застосування комбінації розглянутих методів із метою досягнення оптимальності реалізації схеми СМПА за критерієм мінімуму апаратних витрат.

#### Список літератури:

1. Baranov. S. Logic and System Desing of Digital Systems. Tallinn. 267 p.
2. Sklyarov V., Sklyarova I., Barkalov A., Titarenko L. Synthesis and Optimization of FPGA – based Systems. Berlin. 2014. 432 p.
3. Altera documentation. 2018. URL: [www.altera.com/support/literature/lit-index.html](http://www.altera.com/support/literature/lit-index.html) (дата звернення: 20.01.2018).
4. Xilinx documentation. 2018. URL: <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices.html> (дата звернення: 20.01.2018).
5. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов. Ленинград. 1979. 232 с.
6. Баркалов А. А., Титаренко Л. А., Зеленева И. Я. Реализация совмещенного микропрограммного автомата в базе FPGA. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. 2015. Вип. 2. С. 84 – 88.
7. Microsemi documentation. 2018. URL: <https://www.microsemi.com/products/fpga-soc/fpga-and-soc> (дата звернення: 20.01.2018).
8. Баркалов А.А., Зеленева И.Я., Грушко С.С. Оптимизация схемы совмещенного автомата в базе FPGA способом замены входных переменных. Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. Том 6. Випуск 2. 2015. С. 49 – 54.
9. Yang S. Logic Synthesis and optimization benchmarks user guide. Microelectronics Center of North Carolina. 1991. 43 p.
10. Баркалов А.А., Титаренко Л.А., Зеленева И.Я., Грушко С.С. Использование псевдоэквивалентных состояний в совмещенном микропрограммном автомате. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. 2017. № 1. С. 5 – 11.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР СОВМЕЩЕННЫХ МИКРОПРОГРАММНЫХ АВТОМАТОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ В БАЗИСЕ FPGA

*Проанализированы способы реализации логической схемы совмещенного микропрограммного автомата (СМПА) в базе FPGA с учетом особенностей внутренней структуры микросхем, а также соответствующие способы оптимизации схем. Предложена классификация структур СМПА по критерию способа использования ресурсов микросхемы для размещения отдельных блоков логической схемы. Приведены результаты исследований рассмотренных структур СМПА, на основании чего определены условия целесообразности использования для каждой структуры.*

**Ключевые слова:** микропрограммный управляющий автомат, совмещенный микропрограммный автомат, LUT, встроенные блоки памяти, FPGA, ПЛИС.

**CLASSIFICATION OF COMBINED FSM STRUCTURES  
FOR REALIZATION ON FPGA**

*The methods of combined finite state machine (CFSM) logical scheme realization in FPGA basis as well as corresponding methods of circuit optimization are considered, taking into account features of the internal structure of microcircuits. The classification of CFSM structures according to the criterion of the chip resources using for the location of individual blocks of the logical scheme is proposed. The results of research of considered CFSM structures are presented, on the basis of which the conditions of use expediency are defined for each structure.*

**Key words:** control unit, combined FSM, LUT, embedded memory, FPGA.



УДК 621.311.25:621.039:661.654

**Давидченко Д.В.**

Одесский национальный политехнический университет

**Беглов К.В.**

Одесский национальный политехнический университет

**Чмелев Е.И.**

Южноукраинская АЭС

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

*В статье рассматривается реализация автоматизированной системы регулирования мощности энергоблока атомной электростанции с реактором ВВЭР-1000. Предложена каскадная схема регулирования, которая позволяет учесть нелинейные свойства как самой реакторной установки, так и канала управления при борном регулировании.*

**Ключевые слова:** энергоблок АЭС, маневрирование, мощность, борное регулирование, система регулирования, каскадный регулятор.

**Постановка проблемы.** В плане действий на 2016 год Кабинет Министров Украины запланировал до 31 декабря ввести маневрирование энергоблоками атомных станций для суточного регулирования мощности объединенной энергосистемы. В настоящее время мощность энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 регулируется с помощью органов регулирования системы управления и защиты ядерного реактора (далее – ОРСУЗ). Однако последние исследования показывают, что с точки зрения надежной эксплуатации ТВЭЛов лучшим методом регулирования является изменение концентрации жидкого поглотителя в теплоносителе первого контура. Однако пока система автоматического регулирования мощности энергоблока, с помощью которой можно провести суточное маневрирование мощностью, не реализована.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ряде работ были показаны результаты исследований энергоблока АЭС с ВВЭР-1000 [1, с. 2956; 2, с. 22] с точки зрения влияния изменения концентрации жидкого поглотителя на его мощность. В качестве поглотителя используется раствор борной кислоты. Показано, например, что с точки зрения управления реактор по каналу «расход борной кислоты – концентрация борной кислоты» является нелинейным объектом.

Нелинейность состоит в том, что статические и динамические свойства существенно отличаются друг от друга при изменении направления воздействия, т. е. при вводе борной кислоты и при её выводе [3, с. 18].

Другой фактор, который необходимо учитывать при маневре мощностью – это йодная яма. Йодная яма, или ксеноновое отравление – состояние ядерного реактора после снижения его мощности, характеризующееся накоплением короткоживущего изотопа ксенона  $^{135}\text{Xe}$ , с периодом полураспада 9,14 часа, образующегося в результате радиоактивного распада изотопа йода  $^{135}\text{I}$ . Этот процесс приводит к временному появлению значительной отрицательной реактивности, что, в свою очередь, делает невозможным вывод реактора на проектную мощность в течение определённого периода.

С другой стороны, отравление ксеноном  $^{135}\text{Xe}$  позволяет уменьшить мощность реактора «мягко», не нанося управляющее воздействие с помощью ОРСУЗ и, соответственно, не деформируя поле энерговыделения в активной зоне. В работе [4, с. 104] была предложена так называемая «комбинированно-компромиссная программа регулирования». Эта программа регулирования основана на том факте, что длительность йодной ямы определяется периодом полураспада  $^{135}\text{Xe}$

и позволяет уменьшать мощность реактора во время ночного минимума нагрузки.

Таким образом, если наносить управляющее воздействие по определённому закону, то можно добиться дополнительного снижения мощности за счет отравлением ксеноном. График изменения электрической мощности показан на рисунке 1.

**Постановка задания.** Целью работы является синтез регулятора мощности энергоблока, учитывающего физические свойства реактора, а именно такое явление, как «йодная яма».

**Изложение основного материала исследования.** После проведённых исследований энергоблока АЭС были выработаны следующие требования к АСР мощности.

Во-первых, для реализации комбинированно-компромиссной программы регулирования мощностью энергоблока на ОР СУЗ должен воздействовать регулятор аксиального офсета. Мощность должна поддерживаться с помощью регулятора концентрации борной кислоты [5, с. 51].

Во-вторых, было определено, что для получения эффекта «йодной ямы» концентрация борной кислоты должна оставаться постоянной во время сниженного значения мощности. То есть регулятор не должен реагировать на изменение мощности.

В-третьих, при возврате энергоблока на максимальную мощность концентрация борной кислоты должна отличаться от начального значения, которое было перед манёвром, для компенсации

изменений концентрации  $^{135}\text{Xe}$ , вызванных манёвром.

И в-четвёртых, регулятор должен учитывать нелинейные свойства объекта регулирования.

Таким образом, в процессе синтеза АСР мощности энергоблока с изменением концентрации жидкого поглотителя были рассмотрены несколько схем АСР. Принята к реализации каскадная схема регулирования, показанная на рисунке 2. Моделирование проводилось в среде Simulink пакета MatLab.

На рисунке приняты следующие обозначения:

Power Unit – субблок, описывающий модель энергоблока АЭС;

NeutronContr – регулятор нейтронной мощности реактора;

AxOff\_Contr – регулятор аксиального офсета;

Stab Controller – стабилизирующий регулятор концентрации борной кислоты;

Correction Controller – корректирующий регулятор мощности энергоблока;

Prog\_Contr – программный регулятор;

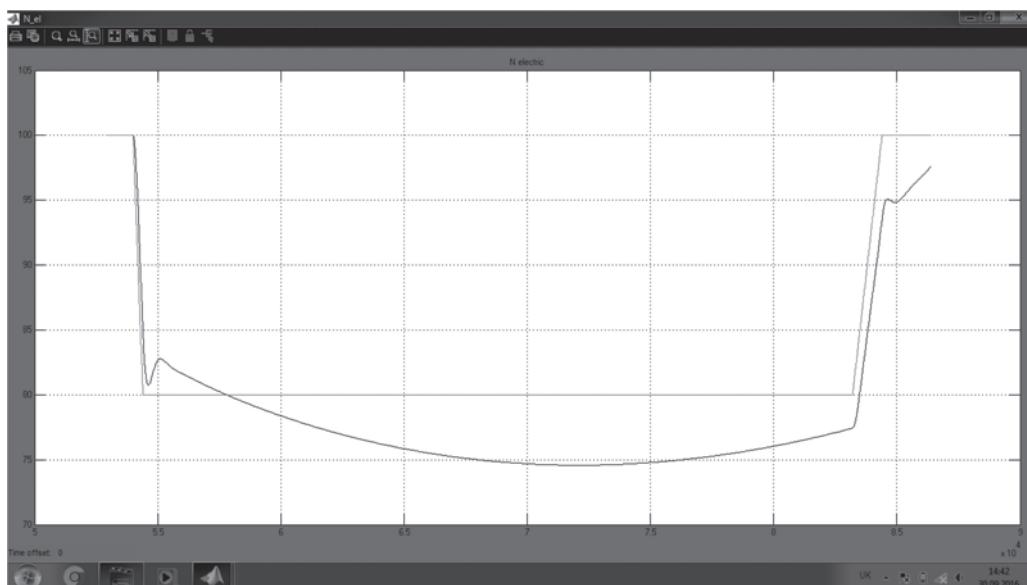
Z\_N – задатчик регулятора нейтронной мощности;

Z\_AO – задатчик регулятора аксиального офсета;

Z\_Bor – задатчик регулятора концентрации борной кислоты;

From File – программа изменения мощности энергоблока;

SUZ – начальное положение ОР СУЗ;



**Рис. 1.** График изменения электрической мощности по заданной программе 1 – задание на изменение мощности; 2 – изменение электрической мощности энергоблока

Progr – номер програми регулювання:  
 1 – підтримання середньої температури теплоносія, 2 – підтримання температури теплоносія на вході в реактор; 3 – підтримання тиску пара перед турбиною.

Блоки с правого края рисунка служат для вывода графиков.

В данной статье рассматривается работа каскадной системы регулювання, в состав которой входят регулятор концентрации борной кислоты Stab Controller и регулятор мощности энергоблока Correction Controller.

Стабилизирующий регулятор представляет собой стандартный регулятор, работающий по

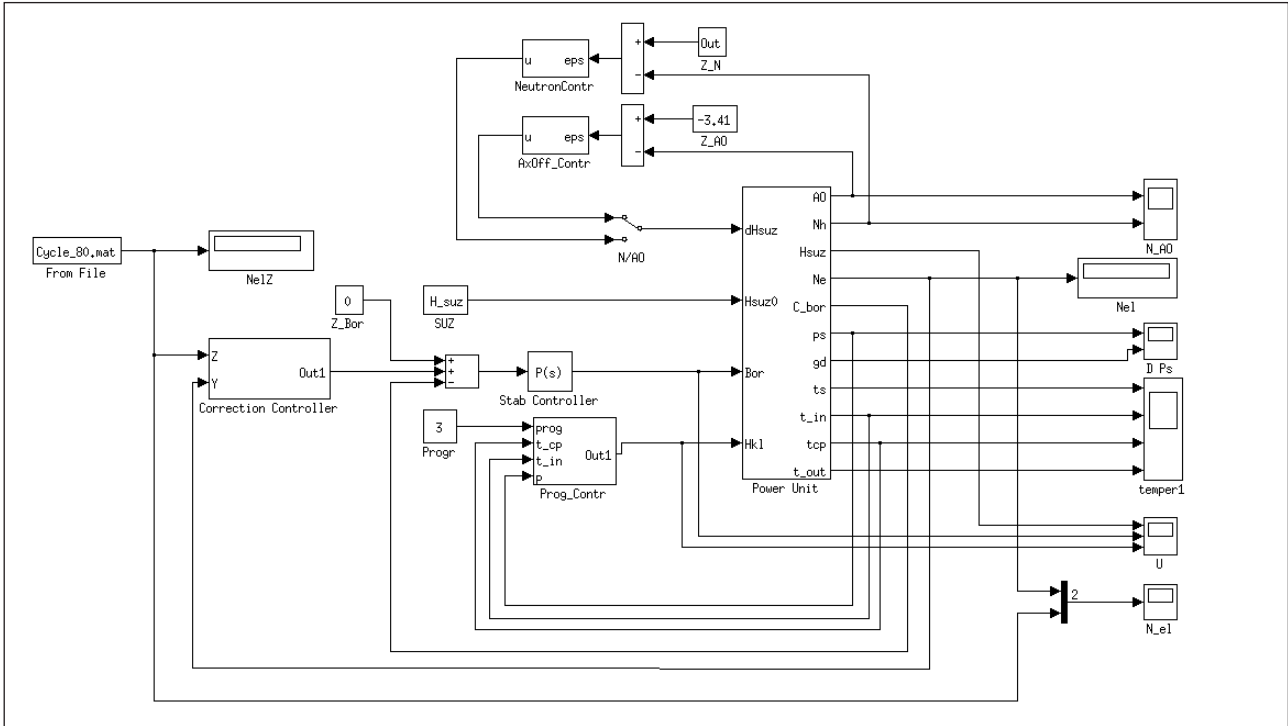


Рис. 2. Схема моделирования АСР мощности энергоблока по комбинированно-компромиссной программе

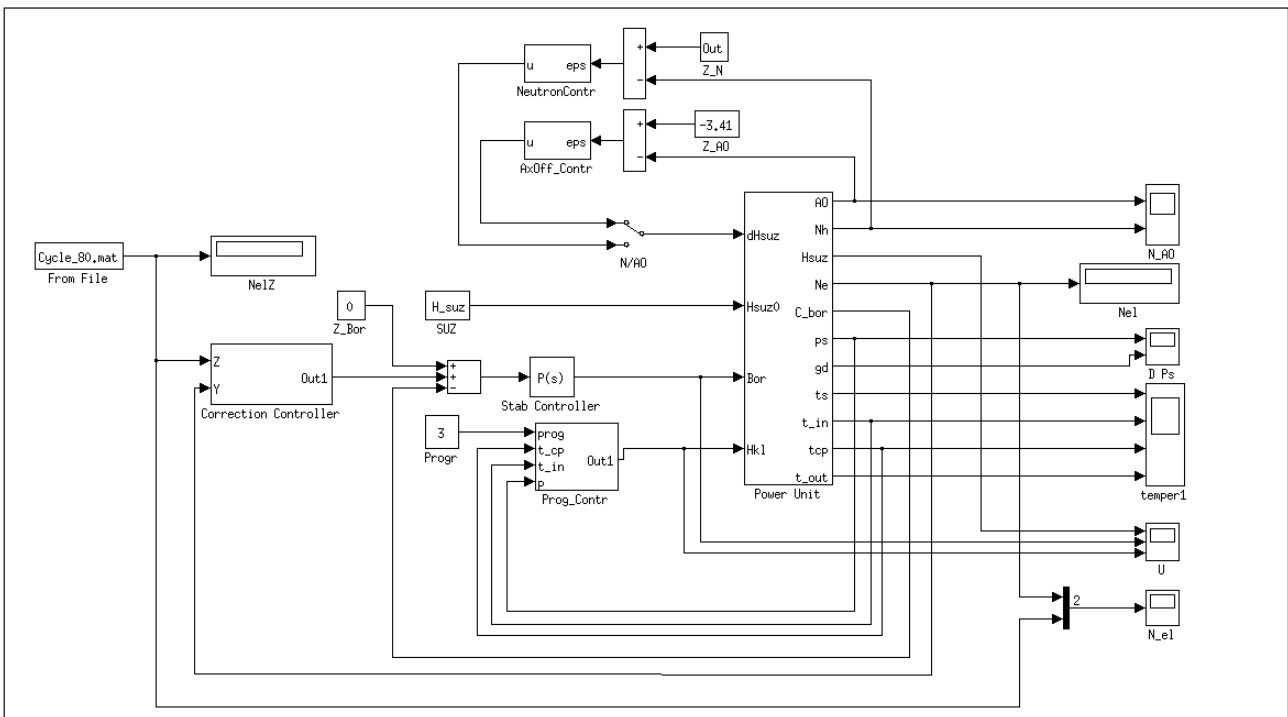


Рис. 3. Структурная схема корректирующего регулятора мощности энергоблока

ПИ-закону. А корректирующий регулятор имеет структуру, представленную на рисунке 3.

Данный регулятор имеет следующие особенности. Во-первых, используется два регулятора Корр\_Р и Корр\_РІ. Первый работает при снижении мощности и реализует П-закон регулирования, второй работает при её увеличении и реализует ПИ-закон. Это необходимо для выполнения второго и третьего требований к АСР мощности. При П-законе имеется статическая ошибка регулирования, которая и позволяет добиться снижения мощности нанесением минимального управляющего воздействия с последующим снижением за счет отравления реактора. ПИ-закон позволяет вывести энергоблок на заданную (номинальную) мощность уже без статической ошибки.

Второй особенностью корректирующего регулятора является схема выбора регулятора. Сигнал по заданию электрической мощности дифференцируется и сравнивается с нулём. Если значение меньше нуля, т. е. задание уменьшается, включается первый регулятор и понижение мощности происходит по П закону. Если дифференцируемый сигнал меньше нуля, в работу включается

ПИ регулятор, который работает при повышении мощности. Триггер нужен для фиксации состояния переключателя регуляторов.

Третьей особенностью корректирующего регулятора является охват обоих внутренних регуляторов локальной обратной связью как по управляющему воздействию, вырабатываемому самим регулятором, так и по управляющему воздействию, подающемуся на общий выход корректирующего регулятора. Такая схема была предложена в [6, с. 212] и позволяет реализовать безударное переключение регуляторов.

После синтеза АСР было проведена серия модельных экспериментов по манёвру мощностью. А именно проводилось снижение электрической мощности реактора со 100% до 90%, 85% и 80%, выдержка на сниженной мощности в течение 8 часов и подъем до 100%. Графики изменения мощности показаны на рисунке 4.

На рисунке приняты следующие обозначения:

- 1 – Изменение мощности при задании 90%;
- 2 – Задание на изменение мощности до 90%;
- 3 – Изменение мощности при задании 85%;
- 4 – Задание на изменение мощности до 85%;

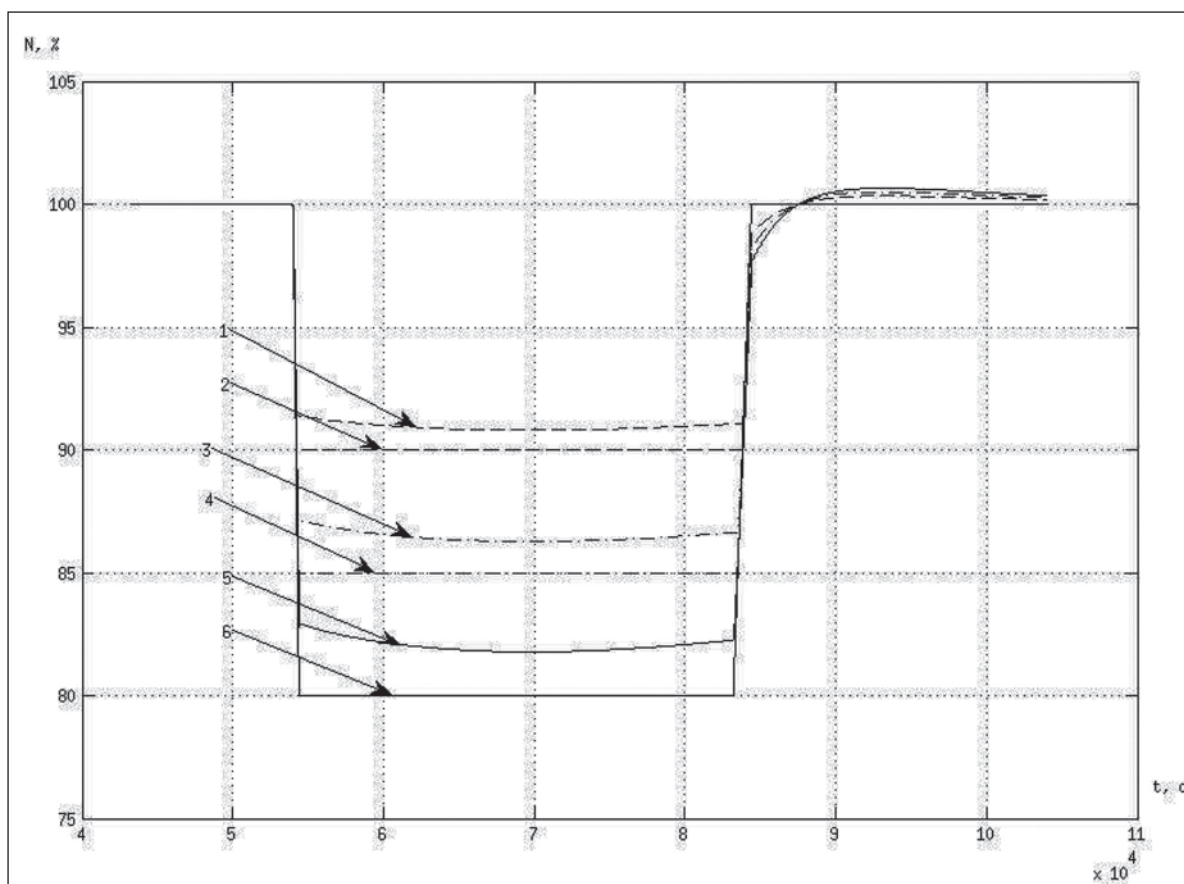


Рис. 4. График изменения мощности энергоблока

- 5 – Изменение мощности при задании 80%;
- 6 – Задание на изменение мощности до 80%.

Как видно из рисунка, электрическая мощность снижалась на величину меньшую, чем было задание регулятору. Этот недостаток достаточно легко устраним соответствующей настройкой корректирующего регулятора.

Большой интерес представляет величина уменьшения мощности от отравления  $^{135}\text{Xe}$ . Из приведённых рисунков видно, что величина йодной ямы различна при различных уровнях снижения мощности. И составляет  $\Delta N=1,78\%$ ,  $\Delta N=1,27\%$ ,  $\Delta N=0,80\%$  при снижении мощности до 80, 85 и 90% соответственно. Этот факт хорошо согласуется с теорией физики ядерных реакторов [7]. Однако величина йодной ямы зависит не только от мощности, но и от других технологических параметров. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования и определить зависимость между величиной задания и достигаемым значением мощности.

**Выводы.** В качестве выводов по работе, можно отметить следующее: для обеспечения работы энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-

1000 в маневренном режиме необходимо использовать каскадную схему управления мощностью. При этом внутренний контур регулятора должен поддерживать концентрацию борной кислоты в теплоносителе первого контура АЭС, компенсируя внутренние возмущения на активную зону реактора. Внешний контур регулятора должен поддерживать заданное значение электрической мощности энергоблока и изменять его в соответствии с требованиями диспетчера энергосистемы.

Существующие классические законы регулирования (П, ПИ, ПИД) не обеспечивают требуемой точности поддержания электрической мощности энергоблока. Этот факт можно объяснить нелинейными свойствами объекта управления, а именно таким понятием как «йодная яма».

Для обеспечения заданных требований к качеству переходного процесса регулирования мощности энергоблока АЭС необходимо провести дополнительные исследования и рассмотреть другие законы формирования управляющего воздействия. Например, адаптивные или нечеткие алгоритмы управления.

#### Список литературы:

1. Pelykh S.N., Maksimov M.V. Cladding rupture life control methods for a power-cycling WVER-1000 nuclear unit. Nuclear Engineering and Design. 2011. Vol. 241. № 8. P. 2956 – 2963.
2. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти у теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2002. № 2 (22). С. 22
3. Волошкіна О.О., Бєглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2015. Т. 7. № 4. С. 18–24.
4. Maksimov M. V., Beglov K. V., Tsiselskaya T. A. A model of a power unit with WVER-1000 as an object of power control. Works of the Odessa Polytechnic University. 2012. Rel. 1(38). P. 104 – 106.
5. Tsiselskaya T. O., Kovtun A. V. An automated boron management system for WVER-1000 nuclear reactors. Праці Одеського політехнічного університету. 2015. Вип. 1 (45). P. 51 – 57.
6. Батяшов С.В., Громаков Е.И. Безударное переключение режимов с ручного на автоматический на примере САУ уровня парового котла. Современная техника и технологии: сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. (Томск, 15–19 апреля 2013 г.). Томск: ТПУ, 2013. С. 212 – 213.
7. Дементьев Б.А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: учебн. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.

### ДОСЛІДЖЕННЯ КАСКАДНОЇ АВТОМАТИЗОВНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТЮ ЕНЕРГОБЛОКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

*Відповідно до енергетичної стратегії Кабінету Міністрів України енергоблоку атомних електростанцій необхідно перевести у маневрений режим. Однак системи автоматичного регулювання потужністю реактора, що експлуатуються на тепер, не здатні забезпечити задану якість перехідних процесів при зміні потужності енергоблоку. У статті розглядається реалізація автоматизованої системи регулювання потужності енергоблоку атомної електростанції з реактором ВВЕР-1000. Запропоновано каскадну схему регулювання, яка дозволяє врахувати нелінійні властивості як самої реакторної установки, так й каналу управління при борному регулюванні. Тим самим домогтися прийнятної якості підтримки потужності енергоблоку при забезпеченні вимог щодо безпечної експлуатації реакторної установки.*

**Ключові слова:** енергоблок АЕС, маневрування, потужність, борне регулювання, система регулювання, каскадний регулятор.

**RESEARCH OF THE CASCADE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM  
OF THE NUCLEAR POWER PLANT POWER**

*In accordance with the energy strategy of the Cabinet of Ministers of Ukraine, the power units of nuclear power plants must be converted to a maneuverable regime. However, the systems used for automatic control of reactor power are not capable of providing a given quality of transient processes when the power unit's power is changed. The article deals with the implementation of an automated power regulation system for a power unit of a nuclear power plant with a VVER-1000 reactor. A cascade scheme is proposed that consider the non-linear properties of both the reactor plant itself and the control channel for boron control. Thus, to achieve an acceptable quality of maintaining the unit's power while ensuring the requirements for the safe operation of the reactor equipment.*

**Key words:** *nuclear power unit, maneuvering, power, boron control, control system, cascade controller.*

**VISUAL COMPONENTS FORMAL DESCRIPTION DEVELOPMENT FOR THE AUTOMATED DESIGN OF SOFTWARE PRODUCTS AND MODULES FOR COMPUTER-INTEGRATED PRODUCTION TECHNOLOGICAL PREPARATION SYSTEMS**

*Within the study on the development of a methodologically justified technology for computer-aided design, the question of a formal representation of forms and their components properties and events description was considered. The systematization of values and linguistic variables representation types was performed depending on their purpose in the main software development environments for production technological preparation computer-integrated systems. An example of basic parameters mathematical and graphical description for form implementations for the RAD Studio XE3 development environment is given.*

**Key words:** computer-integrated system, production technological preparation, design automation, mathematical description, formal representation.

**Problem Formulation.** Effective, cost-effective and competitive work of modern production directly depends on the production technological preparation (PTP) level. At modern stage its increase is reached by introduction of computer-integrated systems for PTP automation. The tasks requiring automation in this direction are difficult to formalize, and as a result, the rules for their automated solution are complexity high level. This leads to high costs for algorithms and software solutions creation. This necessitates the search for alternative solutions, for example, in the creation of new universal models and methods for providing design automation. This will avoid the costs for executing unnecessary and cyclical work in software products and modules design in problems solution for production technological preparation computer-integrated systems (PTP CIS).

**Recent researches analysis.** Based on literature analysis which addresses issues of software development, namely the consideration of approaches used in management systems for software development [1, p. 5], system approaches to software systems design [2, p. 19], software development technology [3, p. 6], and international standards for software development and operation (ISO/IEC 90003:2014 [4]), life cycle (IEEE Std 1517-2010 [5]), quality indicators (IEEE Std 1061-1998 [6]) we can make a conclusion that existing aspects and recommendations do not allow to use them within an integrated approach for solving the problem of developing unified methodology for

software products and modules for PTP CIS design automation field. All considered sources have partial proposals and recommendations on the software products development systematization in general application.

**Objective.** The main target is to develop visual components formal description, namely forms and their components properties and events, which are the next stage of the study to create a methodologically justified technology for software products and modules for PTP CIS automated design.

**Main material statement.** To implement a unified methodology for automating the software products and modules for PTP CIS design, the life cycle (LC) model “Jump” was proposed. It made it possible to combine existing concepts and approaches, synthesize them for application in this research (detailed in [7, p. 12]).

After this LC model formalization and using of developed method for synthesizing components and elements of the technical task (TT) structure we obtained form parameters and events set mathematical description  $Form_i PE$ , as an expression (1) and form structure components set  $CF_i$ , represented as (2):

$$\begin{aligned}
 Form_i PE \in & \underbrace{((mp_1^i, mp_2^i, \dots, mp_n^i) \in MP_i)}_{\text{Parameters set}} \\
 \xrightarrow{\zeta_n} & \underbrace{((pp_1^i, pp_2^i, \dots, pp_n^i) \in PP_i)}_{\text{Values set}} \wedge \\
 \underbrace{((me_1^i, me_2^i, \dots, me_n^i) \in ME_i)}_{\text{Events set}} & \xrightarrow{\zeta_n}
 \end{aligned}$$

$$\underbrace{((ea_1^i, ea_2^i, \dots, ea_n^i) \in EA_i)}_{\text{"Linguistic names" set}} \xrightarrow{\phi_n} \underbrace{((z_1, z_2, \dots, z_n) \in Z)}_{\text{"Solutions_containers" set}} \quad (1)$$

where  $MP_i$  – parameters set  $mp_n^i$ , belonging to the  $i$ -th form number;  $PP_i$  – values set  $pp_n^i$ , which can take  $mp_n^i$  as  $pp_n^i$ , it must be taken into account that to each  $mp_n^i \rightarrow pp_n^i$ , and a lot of variations that can take  $pp_n^i$  are stored in set  $Z$ ;  $ME_i$  – admissible events set may be executed by  $Form_i$ ;  $me_n^i$  – unique parameters set;  $EA_i$  – “linguistic names” set;  $Z$  – solutions containers set.

$$CF_i \in \underbrace{(CD_n^i)}_{\text{Element}} \in \underbrace{(((pc_1^i, pc_2^i, \dots, pc_n^i) \in PC_n^i))}_{\text{Element parameters set}} \xrightarrow{\varepsilon_n} \underbrace{((pp_1^i, pp_2^i, \dots, pp_n^i) \in PP_n^i)}_{\text{Values set}} \wedge \underbrace{((ce_1^i, ce_2^i, \dots, ce_n^i) \in CE_n^i)}_{\text{Events set}} \xrightarrow{\varepsilon_m} \underbrace{((ea_1^i, ea_2^i, \dots, ea_n^i) \in EA_i)}_{\text{"Linguistic names" set}} \xrightarrow{\phi_n} \underbrace{((z_1, z_2, \dots, z_n) \in Z)}_{\text{"Solutions_container" set}} \quad (2)$$

where  $CD_n^i$  –  $i$ -th form visual components set;  $PC_n^i$  – ordered set of parameters for describing visual components  $pc_m^i$ ,  $PP_n^i$  – values set for  $pp_n^i$ , which can take the parameters of an element,  $CE_n^i$  – events set  $ce_n^i$ , which can be processed by the visual component.

To develop values and „linguistic variables” formal representation that will correspond to properties and events description inherent in the form and graphical elements, it is necessary to systematize value and „linguistic variables” representation type depending on their task in software development environments for PTP CIS. In modern development environments (Visual Studio, RAD Studio XE3) analysis, the following values representation types were distinguished, they are presented in the Table 1.

Text type is used for parameter assignment representation, which in most cases are informational in the user interface development. A linguistic type is necessary for assigning a unique definition for „linguistic name”  $EA_i$  to a particular event that needs to be processed using the „solutions container”  $Z$  specified by the developer. „Linguistic name” is unique in the set  $EA_i$ . Boolean type allows the developer to select the activity / passivity of the selected parameter. In most cases it is used to set parameter values  $mp_n^i \in MP_1$  и  $pc_n^i \in PC_n^i$  for description  $Form_i$  and elements  $CD_n^i$ . An integer type is used to describe values that are specified by the user in pixels, mainly serve to determine dimensions for  $Form_i$ , as well as the sizes and coordinates of the location  $CD_n^i$  at  $Form_i$ . The integer negative is used to index the number of possible choices for graphical user interface implementations. Basically, this type is used when numbering image, occurs as a parameter value  $mp_n^i \in MP_1$  and  $pc_n^i \in PC_n^i$ . Text phrase (reserved by

Table 1

Values Types Representation  $PP_i, PP_n^i, EA_i$

Values Type Representation	Application	Example
Text (a,b,c,...z) (a,b,c,...я)	$PP_i, PP_n^i$	$pp_1^i \in PP_i = \text{Name of the main form}$ (form name for user, set by developer)
Linguistic (aaab bbcc,...,aabb)	$EA_i$	$ea_1^i \in EA_i = \text{„AllCloseForm”}$ (solutions container linguistic name).
Boolean (true, false)	$PP_i, PP_n^i$	$pp_1^i \in PP_i = \text{false}$ (non-using specified parameter, set by developer).
Integer ((0,12,...,n) ((0,12,...,n)	$PP_i, PP_n^i$	$pp_1^i \in PP_i = 380$ (length $Form_i$ situation coordinates).
Integer negative (-1)	$PP_i, PP_n^i$	Used for indexing, with the value (-1) -indexing is absent, if there is an integer type.
Text phrase (aa,ab,...aabb) (reserved by the development environment)	$PP_i, PP_n^i$	$pp_1^i \in PP_i = \text{clBtmFace}$ (background colour definition for $Form_i$ in environment RAD Studio XE3)



the development environment) type - values of the form of words or abbreviations that are strictly fixed in the development environment and to each specific parameter  $mp_n^i \in MP_1, pc_n^i \in PC_n^i$  can belong to a specific set of two or more values  $pp_n^i$ .

To simplify values representations formalization  $PP_i, PP_n^i, EA_i$  it is proposed to group them into two groups: on the basis of forms parameters description  $MP_1$  and elements  $PC_n^i$ , and by forms events  $me_n^i \in ME_i$  and elements events  $ce_n^i \in CE_n^i$ : Then, the formal values representation  $PP_i, PP_n^i$  for forms and graphic elements will look like this:

- integer values representation:

$$mp_n^i \vee pc_n^i = \begin{cases} a^1, & \text{if } a_i \leq pp_n^i \leq [value], \\ a^2, & \text{if } [value] < pp_n^i \leq [value], \\ \dots \\ a^n, & \text{if } [value] < pp_n^i \leq a_j, \end{cases}$$

where  $mp_n^i \vee pc_n^i$  -  $n$ -th parameter designation for  $MP_i$  and  $PC_n^i$  respectively;  $a^1, a^2, \dots, a^n$  - value range identifiers;  $a_i, a_j$  - boundary values that:  $a_i \rightarrow \min; a_j \rightarrow \max; [value]$  - selected thresholds for the parameter.

- boolean:

$$mp_n^i \vee pc_n^i = \begin{cases} a^1, & \text{if } pp_1^i = [false], \\ a^2, & \text{if } pp_2^i = [true]. \end{cases}$$

where  $mp_n^i \vee pc_n^i$  -  $n$ -th parameter designation for  $MP_i$  and  $PC_n^i$  respectively;  $a^1, a^2$  - value range identifiers;  $[true, false]$  - logical value definition.

- text word or phrase:

$$mp_n^i \vee pc_n^i = \begin{cases} a^1, & \text{if } pp_1^i = [word, phrase], \\ a^2, & \text{if } pp_2^i = [word, phrase], \\ \dots \\ a^n, & \text{if } pp_n^i = [word, phrase]. \end{cases}$$

where  $mp_n^i \vee pc_n^i$  -  $n$ -th parameter designation for  $MP_i$  and  $PC_n^i$  respectively;  $a^1, a^2, \dots, a^n$  - value range identifiers;  $[word, phrase]$  - text or a phrase definition.

- integer negative:

$$mp_n^i \vee pc_n^i = \begin{cases} a^1, & \text{if } a_i = pp_n^i = -1, \\ a^2, & \text{if } [1] \leq pp_n^i \leq [value], \\ \dots \\ a^n, & \text{if } [value] < pp_n^i \leq a_j, \end{cases}$$

where  $mp_n^i \vee pc_n^i$  -  $n$ -th parameter designation for  $MP_i$  and  $PC_n^i$  respectively;

$a^1, a^2, \dots, a^n$  - value range identifiers;  $a_i, a_j$  - boundary values that:  $a_i = -1; a_j \rightarrow \max; [value]$  - selected thresholds for the parameter.

Formal forms events representation  $ME_i$  and graphic elements  $CE_n^i$ :

- linguistic:

$$me_n^i \vee ce_n^i = \begin{cases} a^1, & \text{if } ea_1^i = [word], \\ a^2, & \text{if } ea_2^i = [word], \\ \dots \\ a^n, & \text{if } ea_n^i = [word]. \end{cases}$$

where  $mp_n^i \vee ce_n^i$  -  $n$ -th parameter designation for  $ME_i$  and  $CE_n^i$  respectively;  $a^1, a^2, \dots, a^n$  - value range identifiers;  $[word]$  - of the solutions container "linguistic name" definition that is unique in  $EA_i$ .

Let us give an example of a mathematical description and links graphical representation, guided by the above described, Table 1 and an improved model of Constantan methodology graphical representation.

Let  $P$  exists as a projected software product for solving problems for automated control system (ACS) PTP, which consists of two dialog forms.  $Form_1$  acts as the main form for designed ACS PTP, which is represented by a set of  $Form_1 PE$  which describes a necessary and sufficient parameters set  $MP_1$  and their values  $PP_1$  which are allowed for each parameter  $mp_1^1, \dots, mp_n^1$  (parameters number and names depend on the selected development environment. Each of them corresponds to a certain  $pp_1^1, \dots, pp_n^1$  - a set of values that are acceptable to every  $mp_i^1$ . Consequently, we can write the following:

$$MP_1 \xrightarrow{\zeta_i} PP_1 \text{ as } \underbrace{\begin{cases} mp_1^1(\text{Caption}) \xrightarrow{\zeta_1} \\ mp_2^1(\text{ClientHeight}) \xrightarrow{\zeta_2} \\ \vdots \\ mp_n^1(\text{Visible}) \xrightarrow{\zeta_n} \end{cases}}_{\text{parameter}} \rightarrow \underbrace{\begin{cases} pp_1^1(\text{textname}) \\ pp_2^1(1, 2, \dots, 1200 \text{ pix}) \\ \vdots \\ pp_n^1(\text{true, false}) \end{cases}}_{\text{value}} \quad (3)$$

To simplify the presentation  $MP_1 \xrightarrow{\zeta_i} PP_1$  we carry belonging notion in terms of describing the values assignment that are specified by the developer depending on customer's requirements. We introduce basic parameters notion  $mp_i^1$ , which are filled in necessarily if the development environment can not construct  $Form_1$ , and non-basic  $mp_i^1$  in which values presence  $pp_n^1$  can not be specified (is specified as necessary or is generated by the default

by development environment). An example of a mathematical notation is presented in expression (4). This allows us to describe  $Form_i PE$ , all necessary parameters for graphical display implementations  $Form_i$ , which can be specified in the developed automated system for the software design for CIS PTP by expression (5):

$$MP_1 \begin{cases} mp_1^1 \xrightarrow{\zeta_1=textname} pp_1^1 \\ mp_2^1 \xrightarrow{\zeta_2=640\ pix} pp_2^1 \\ \dots \\ mp_n^1 \xrightarrow{\zeta_n=true} pp_n^1 \end{cases} \rightarrow PP_1 \quad (4)$$

$$Form_i [Form_i PE(MP_1) \xrightarrow{mp_1^1=textname, mp_2^1=640, mp_3^1=bsSizeable, \dots, mp_n^1=true} PP_1] \quad (5)$$

Let us consider a mathematical description of necessary and sufficient basic parameters for implementations of an empty (without elements  $CD_n^i \in CF_1$  and events  $ME_n^i$ )  $Form_i$  for the development environment RAD Studio XE3. Taking into account parameters equality  $mp_4^1, mp_5^1, mp_8^1, mp_9^1, mp_{23}^1, mp_{24}^1, mp_{46}^1, mp_{50}^1, mp_{58}^1, mp_{59}^1, mp_{66}^1, mp_{68}^1, mp_{70}^1, mp_{13}^1, mp_{32}^1$

и  $mp_{27}^1, mp_{48}^1, mp_{49}^1, mp_{57}^1$  within developing method we propose to group parameters by the same value. This will make possible to simplify description mathematical representation up to next:

$$Form_i PE(MP_1) \xrightarrow{mp_3^1 = alNone; mp_4^1, mp_5^1, mp_8^1, mp_9^1, mp_{23}^1, mp_{24}^1, mp_{46}^1, mp_{50}^1, mp_{58}^1} \wedge$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{59}^1, mp_{66}^1, mp_{68}^1, mp_{70}^1 = false; mp_6^1 = 255; mp_{10}^1 = bdLeftToRight; mp_{12}^1 = bsSizeable;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{13}^1, mp_{32}^1, mp_{62}^1, mp_{64}^1 = 0; mp_{14}^1 = NameFormCaption; mp_{15}^1 = 212; mp_{16}^1 = 418;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{17}^1 = clBmFace; mp_{19}^1, mp_{27}^1, mp_{48}^1, mp_{49}^1, mp_{57}^1 = true; mp_{20}^1 = crDefault;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{22}^1 = dmActiveForm; mp_{25}^1 = dkDra; mp_{26}^1 = dmManual; mp_{29}^1 = fsNormal;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{30}^1 = TGlassFrame; mp_{31}^1 = 250; mp_{35}^1 = htContext; \dots; mp_{44}^1 = Form1; mp_{51}^1 = 96;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{53}^1 = pmNone; mp_{55}^1 = poDefaultPos; \dots; mp_{56}^1 = po; \dots; mp_{60}^1 = 10;}$$

$$\wedge \xrightarrow{mp_{63}^1 = tipDontCare; \dots; mp_{67}^1 = clBlac; mp_{71}^1 = 434; mp_{73}^1 = \square sNormal} \rightarrow PP_1 ]$$

Let us consider events mathematical description  $(me_1^1, \dots, me_n^1) \in ME_1$  and "linguistic variables"  $(ea_1^1, \dots, ea_n^1) \in EA_1$  as well as the "solutions container"  $(z_1, z_2, \dots, z_n) \in Z$  inherent in each  $Form_i$  and belong to the set  $Form_i PE$ .

$$ME_1 \begin{cases} me_1^1 \xrightarrow{f_1 = ea_1, \text{linguistic variable } 1} z_1 \text{ ("solutions container 1")} \\ me_2^1 \xrightarrow{f_2 = ea_2, \text{linguistic variable } 2} z_2 \text{ ("solutions container 2")} \\ me_3^1 \xrightarrow{f_3 = ea_3, \text{linguistic variable } 3} z_3 \text{ ("solutions container 3")} \\ \dots \\ me_n^1 \xrightarrow{f_n = ea_n, \text{linguistic variable } n} z_n \text{ ("solutions container n")} \end{cases} \rightarrow Z$$

We take into account such an opportunity as the use of one "linguistic variable"  $ea_n^1$  to describe two or more events  $(me_1^1, \dots, me_n^1) \in ME_1$  at  $Form_1$ , each  $ea_n^1$  "linguistic variable" has its own unique  $z_i \in Z$  "solutions container", which contains the program code.

$$Form_1 PE(ME_1) \xrightarrow{me_1^1, me_4^1 = \text{"linguistic variable 1"};}$$

$$\wedge \xrightarrow{me_2^1 = \text{"linguistic variable 2"};}$$

$$\wedge \xrightarrow{me_3^1 = \text{"linguistic variable 3"}} \rightarrow (Z) \quad (6)$$

For parameters description  $PC_n^i$  and their values  $PP_n^i$  of graphic elements  $CD_n^i$ , which are an integral part  $Form_1$  it is suggested to use the record type represented by the expression (2), and events interaction description  $CE_n^i$  by "linguistic names" set  $EA_i$  with "solutions container"  $Z$  respectively (6).

Graphic interaction model fragment  $Form_1$  and  $Form_2$  using a parameters and events value formal description is shown in the Figure 1:

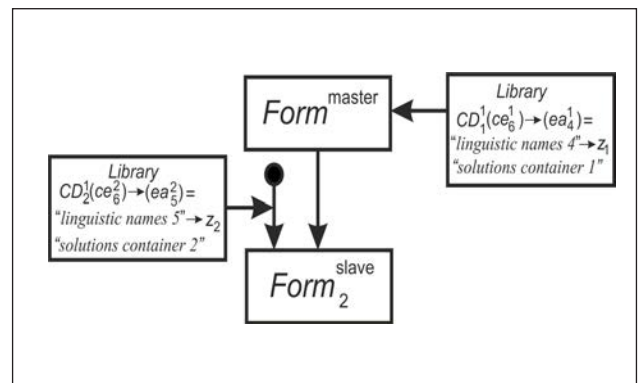


Figure 1. Graphic interaction model fragment  $Form_1$  and  $Form_2$

Conclusions. Visual components formal description for development environments (RAD Studio XE3, Visual Studio), which is based on form properties and events mathematical description, as well as user's interface elements. A new interaction between the main elements construction graphical representation for objects interaction within software is proposed. In the future, on the basis of the proposed solutions, it is planned to develop a language for software design for CIS PTP. These researches results are implemented in the "Automated System for Software Designing for Corporate Information Systems for PTP «CAD-Programming Code»" certificate of authorship № 74576, 09.11.2017.

**References:**

1. Бушуев С.Д., Бушуева Н.С. Современные подходы к развитию методологий управления проектами. Зб. наук. пр. Управління проектами та розвиток виробництва. 2005. Вип. №1(13). с. 5-19.
2. Липаев В.В. Проектирование и производство сложных заказных программных продуктов. Москва, 2011. 408 с.
3. Соловьев Н.А., Чернопрудова Е.Н. Системы автоматизации разработки программного обеспечения. Оренбург, 2012. 191 с.
4. ISO / IEC 90003: 2014. Software Engineering. Guidelines for the Application of ISO 9001:2008 to Computer Software. IEEE, 2015. 54 p.
5. IEEE Std 1517-2010. System and Software Life Cycle Processes. Reuse Processes. IEEE, 2010. 51 p.
6. IEEE Std 1061-1998. Standard for a Software Quality Metrics Methodology. IEEE, 2005. 26 p.
7. Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Демська А.І. Розробка моделі життєвого циклу розробки програмного продукту та програмних модулів для КІС ТПВ. Научно-технічний журнал «Технологія приладобудування». 2017. №1. С. 12-16.

**РАЗРАБОТКА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ  
И МОДУЛЕЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

*В рамках исследования по разработке методологически обоснованной технологии автоматизированного проектирования рассмотрен вопрос о формальном представлении описания свойств и событий форм и их компонентов. Проведена систематизация типов представления значений и лингвистических переменных в зависимости от их назначения в основных средах разработки программных продуктов для компьютерно-интегрированных систем технологической подготовки производства. Приведен пример математического и графического описания основных параметров для реализаций формы для среды разработки RAD Studio XE3.*

**Ключевые слова:** компьютерно-интегрированные системы, технологическая подготовка производства, автоматизация проектирования, математическое описание, формальное представление.

**РОЗРОБКА ФОРМАЛЬНОГО ОПИСУ ВІЗУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ  
ТА МОДУЛІВ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІХ СИСТЕМ  
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**

*У рамках дослідження з розробки методологічно обґрунтованої технології автоматизованого проектування розглянуто питання про формальне подання опису властивостей і подій форм та їх компонентів. Проведена систематизація типів представлення значень і лінгвістичних змінних у залежності від їх призначення в основних середовищах розробки програмних продуктів для комп'ютерно-інтегрованих систем технологічної підготовки виробництва. Наведено приклад математичного та графічного опису основних параметрів для реалізації форми для середовища розробки RAD Studio XE3.*

**Ключові слова:** комп'ютерно-інтегровані системи, технологічна підготовка виробництва, автоматизація проектування, математичний опис, формальне подання.

**Kalinovsky Ya.A.**

Institute for Information Recording  
National Academy of Sciences of Ukraine

**Boiarinova Yu.E.**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

## CONSTRUCTION OF EFFECTIVE ALGORITHMS FOR SOLVING SYSTEMS OF ISOMORPHISM EQUATIONS FOR HYPERCOMPLEX NUMBER SYSTEMS USING EXPONENTIAL REPRESENTATION

*The method of determining the isomorphism of hypercomplex number systems is investigated in the article by analyzing the representations of exponential functions in these systems. It is shown that such an approach significantly improves the efficiency of algorithms for solving systems of isomorphism equations.*

**Key words:** hypercomplex number systems, isomorphism, exponential functions, solving systems of equations, exponential representation.

**Problem statement.** The quantity of calculations for solving specific scientific and technical problems largely depends on the organization of these calculations [1; 2]. At the same time, one of the most effective methods of organizing computations is the transition from the initial representation of information to a form in which operating with data becomes more productive.

The idea of a transition from one object space to another is fruitful in the field of hypercomplex calculus [3–6]. This is facilitated by the fact that among the set of hypercomplex number systems (HNS) of fixed dimension, there are subsets of systems that are isomorphic to each other. The two HNS are isomorphic if there is a one-to-one correspondence between them, that the image of the operation on the operands in one HNS is equal to the operation on the images of the same operands in another HNS [7]. This means that any computation can be done in any of the isomorphic HNS. The result will be the same, taking into account the translation of data and results from one system to another.

Two isomorphic HNS are similar to each other relative to their defining operations. But there may be differences, which are very interesting for developers of rational computing processes. The fact is that tables of multiplication of isomorphic HNS can vary greatly in the number of zero cells: in a strongly filled HNS there are few zeros, weakly filled – a lot.

And, as a consequence, operating with hypercomplex numbers in a strongly-filled emergency is coextensive with the need to perform more operations on real numbers than in a weakly filled [8].

Experience in the development of mathematical models with the application of HNS shows the need to apply both types of HNS: highly filled – to identify models, weakly filled – to intensify the very process of modeling [9; 10; 14]. That is, for the successful use of HNS methods in mathematical modeling, it is necessary to have a set of pairs of isomorphic HNS of different dimensions and types.

A significant obstacle here is the difficulty of establishing isomorphism (or lack thereof) of two HNS. Proceeding from this, the goal of this work is determined.

**Purpose of the article.** The creation of such algorithms for solving systems of quadratic isomorphism equations for the pair HNS, which would greatly simplify their solution. The goal is achieved by using representations of exponential functions in these HNS.

**The equations system of HNS isomorphism.** Hypercomplex number systems  $F_1$  and  $F_2$  are called isomorphic ( $F_1 \approx F_2$ ) if there exists a one-to-one mapping  $L$  of space  $F_1$  to space  $F_2$  such that the following properties hold:

$$L(a + b) = L(a) + L(b), \quad (1)$$

$$L(a \times b) = L(a) \times L(b), \quad (2)$$

where  $a, b \in F_1$ ,  $L(a), L(b) \in F_2$ .



which  $n^2 - n$  are linearly dependent on  $n$  free variables. To obtain these linear dependences, it is necessary to solve a system of linear equations [1; 3]. After this, one can obtain general solutions (9), which depend on  $n$  arbitrary constants  $\bar{X}(t, C_1, \dots, C_n)$ . The values of arbitrary constants are established using the initial condition  $Exp(0) = \varepsilon$ . The components of the vector-column  $\bar{X}$ -solution and are components of the exponent of the hypercomplex number  $M$

$$Exp(M) = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i e_i. \quad (10)$$

The method of constructing representations of an exponential from a hypercomplex variable with the help of an associated system of linear differential equations is fairly easy to formalize for the construction of algorithms and programs in systems of symbolic computations.

Normalized form of the exponential representation. In the general case, the set of roots  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  of the characteristic equation  $\alpha - \lambda E = 0$  consists of  $n$  roots and can be divided into the following subsets:

1. A subset of single real roots  $\lambda_i \in R$ .

In the exponential representation, they correspond to terms of the form

$$x_i = \bar{x}_i \cdot e_i = C_i e^{\lambda_i} e_i.$$

2. A subset of conjugate pairs of complex roots  $\lambda_i, \lambda_{i+1} = \bar{\lambda}_i \in C$ .

Usually, when solving systems of linear differential equations for a pair of complex conjugate roots, the particular solution is taken in the form  $x = e^{\text{Re}(\lambda t)} (C_1 \cos(\text{Im}(\lambda)t) + C_2 \sin(\text{Im}(\lambda)t))$ . In this paper, Euler's formula will not be used to write the solution, as will the representation of the real exponential in terms of hyperbolic functions  $e^\phi = ch\phi + sh\phi$ , since this greatly complicates the structure of the representation formula and makes it difficult to analyze it. Instead, for a pair of complex-conjugate roots, the components of the representation are written as two

$$x_i = \bar{x}_i \cdot e_i = C_i e^{\lambda_i} e_i; \quad x_{i+1} = \bar{x}_{i+1} \cdot e_{i+1} = \bar{C}_i e^{\bar{\lambda}_i} e_{i+1},$$

but arbitrary constants are no longer real, but complex.

3. A subset of real multiple roots.

Suppose that the multiplicity of one of the collections of real multiple roots is  $s$

$$\lambda_{i+1} = \lambda_{i+2} = \dots = \lambda_{i+s}$$

Then, as follows from the theory of linear differential equations, this set of roots will correspond to  $s$  components of a general solution of the form

$$x_{i+j} = \bar{x}_{i+j} e_{i+j} = (P_0^j + P_1^j + \dots + P_s^j) e^{\lambda_{i+j}} e_{i+j}; \quad j = 1, \dots, s,$$

where  $P_k^j$  - polynomial of degree  $k$  in the variables  $m_1, \dots, m_n$ . The form of these polynomials is determined from the defining equation of the associated system of linear differential equations.

4. A subset of multiple pairs of complex-conjugate roots.

Suppose that the multiplicity of one of the sets of multiple pairs of complex conjugate roots is equal to  $s$ . Then all in this set will be the  $2s$  roots

$$\lambda_{i+1} = \lambda_{i+3} = \dots = \lambda_{i+2s-1}; \quad \lambda_{i+2} = \dots = \lambda_{i+2s} = \bar{\lambda}_{i+1}.$$

And this set of roots will correspond to  $2s$  components of the general solution of the form

$$\begin{aligned} x_{i+j} &= \bar{x}_{i+j} e_{i+j} = (P_0^j + P_1^j + \dots + P_s^j) e^{\lambda_{i+j}} e_{i+j}; \\ x_{i+j+1} &= \bar{x}_{i+j+1} e_{i+j+1} = (\bar{P}_0^j + \bar{P}_1^j + \dots + \bar{P}_s^j) e^{\bar{\lambda}_{i+j}} e_{i+j+1}; \\ & j = 1, 3, \dots, 2s - 1. \end{aligned}$$

Here there will already be polynomials with complex coefficients.

Thus, the representation of the exponential will represent the sum of the  $n$  summands, each of which is a monomial, for which in the first two cases there are three factors: a real or complex arbitrary constant, an exponential of the real or complex characteristic root, and a basic element. In the third and fourth cases there are four factors. To the three previous factors we add a polynomial of the  $(s - 1)$  power with real or complex variables. Such a form of the representation of an exponential will be called the normalized form of the representation.

The action of the isomorphism operator on the representation of the exponent. The isomorphism of two HNS means the existence of such a linear transformation of bases whose determinant is not equal to zero, that for operations of addition and multiplication the image of the result of these operations is equal to the result of the operation on operands. Therefore, any expression with a finite number of hypercomplex operations is transformed by the same linear transformation.

The representation of an exponential in terms of a power series contains a countable number of operations. However, in this case, as will be shown below, an isomorphic transformation of the representation of an exponent from a number in one HNS will lead to a representation of the exponent from the image of this number in another

Let two isomorphic HNS  $\Gamma_1(e, n) \simeq \Gamma_2(f, n)$  and a linear isomorphic transformation  $L$

$$\Gamma_1(e, n) \stackrel{L}{\simeq} \Gamma_2(f, n), \quad (11)$$

$$L:e_k = \sum_{j=1}^n l_{kj} f_j; \quad k = 1, \dots, n. \quad (12)$$

The number  $X = \sum_{j=1}^n x_j e_j \in \Gamma_1(e, n)$  in the transition to the system  $\Gamma_2(f, \bar{n})$  with the  $L$  isomorphism is transformed as follows:

$$\begin{aligned} X &= x_1 e_1 + x_2 e_2 + \dots + x_n e_n \Leftrightarrow x_1 (l_{11} f_1 + l_{12} f_2 + \dots + l_{1n} f_n) + \\ &+ x_2 (l_{21} f_1 + l_{22} f_2 + \dots + l_{2n} f_n) + \dots + x_n (l_{n1} f_1 + l_{n2} f_2 + \dots + l_{nn} f_n) = \\ &= (x_1 l_{11} + x_2 l_{21} + \dots + x_n l_{n1}) f_1 + (x_1 l_{12} + x_2 l_{22} + \dots + x_n l_{n2}) f_2 + \\ &+ \dots + (x_1 l_{1n} + x_2 l_{2n} + \dots + x_n l_{nn}) f_n = y_1 f_1 + \dots + y_n f_n \in \Gamma_2(f, n), \end{aligned} \quad (13)$$

where

$$y_i = x_1 l_{1i} + x_2 l_{2i} + \dots + x_n l_{ni}. \quad (14)$$

That

$$\bar{Y} = L^T \bar{X}, \quad (15)$$

the components of the hypercomplex number  $Y \in \Gamma_2(f, n)$  (column vector  $\bar{Y}$ ) are obtained by multiplying the column vector  $\bar{X}$  from the left by the trans-rotated matrix of the isomorphic transformation operator  $L^T$ .

If we apply the linear transformation of the isomorphism  $L$  to the exponent of the hypercomplex number  $X = \sum_{i=1}^n x_i e_i \in \Gamma_1(e, n)$ , we get the exponential of the hypercomplex number  $Y \in \Gamma_2(f, n)$ , which is the image of the number  $X$ :

$$\text{Exp}(X) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{X^k}{k!} \Leftrightarrow \sum_{k=0}^{\infty} \frac{Y^k}{k!} = \text{Exp}(Y) \in \Gamma_2(f, n). \quad (16)$$

Hence, subjecting an isomorphic transformation to an exponent in one HNS, one can obtain an exponent in isomorphic HNS from image numbers. The same can be said about representations of exponentials, since their construction with respect to a power series gives a unique representation.

We state the main result: if there are two isomorphic systems (11) and an isomorphism operator (12), then an isomorphic transformation of the representation of an exponent in one of the HNS is a representation of the exponent in another HNS.

The set of roots of the characteristic equation and the isomorphism of HNS. Let us consider the case when a hypercomplex number system  $\Gamma_1(e, n)$  is a direct sum of number systems  $\Gamma_{li}$

$$\Gamma_1 = \bigoplus_{i=1}^k \Gamma_{li}. \quad (17)$$

As was shown above, the normalized form of the representation of its exponential consists of normalized forms of representations of the exponent of each of the incoming subsystems. That is, the number of summands is equal to the number of roots of the characteristic equation, which in turn is equal to the dimension of the entire HNS. Each term is determined by one of the roots of the characteristic equation.

We proceed by a linear transformation of a basis  $e$  from a system  $\Gamma_1(e, n)$  to a system  $\Gamma_2(f, n)$  isomorphic to it. Let us consider how the roots of the characteristic equation, which appear in the summands of the exponentials of the system  $\Gamma_1(e, n)$ , change in this case. Since these roots are functions of the components of a number  $\bar{M}$ , they will vary according to (15), that is, multiplying the column vector  $\bar{M}$  from the left by the transposed matrix of the isomorphic transformation operator  $L^T$ . Hence, the roots of the characteristic equation are linearly transformed. And this means that their type does not change: different material roots go into different real, different complex into different complex, identical roots – into

the same, the real can not be transformed into complex ones and vice versa. The characteristic equation  $\alpha - \lambda E = 0$  can be represented in the form

$$(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2) \dots (\lambda - \lambda_n) = 0, \quad (18)$$

where  $\lambda_i, i = 1, \dots, n$  – roots of the characteristic equation. Since they depend on the components  $\bar{M}$ , the linear transformation of them does not change the type. And this means that the normal form of the exponent of the system  $\Gamma_2(f, n)$  has the same structure as the exponent in the system  $\Gamma_1(e, n)$ .

If the basis of the system  $\Gamma_1(e, n)$  is transformed by another linear transformation, then we obtain a system  $\Gamma_3(g, n)$  isomorphic  $\Gamma_1(e, n)$ :

$$\Gamma_3(g, n) \simeq \Gamma_1(e, n)$$

and, under condition the transitivity of the isomorphism relation, we obtain

$$\Gamma_3(g, n) \simeq \Gamma_2(f, n).$$

Thus, by transforming by any possible non-degenerate linear transformations any basis to which a fixed set of roots of the characteristic equation corresponds, one can obtain the whole class of isomorphisms. That is, one and only one set of roots of the characteristic equation will correspond to this class of isomorphisms.

Unfortunately, the converse is not true. As follows from [8], different nonisomorphic HNS can correspond to the same set of roots. This can happen when the roots of the characteristic equation have multiple real or (or) complex roots of multiplicity greater than 2. Several classes of isomorphisms of indecomposable HNS correspond to roots of this multiplicity, and only one isomorphism class of the system of dual numbers  $D$  with the table multiplication:

$D$	$e_1$	$e_2$
$e_1$	$e_1$	$e_2$
$e_2$	$e_1$	$0$

The multiplicities 3 correspond to two classes of isomorphisms. Tables of multiplication of representatives of classes are given below.

In both HNS, the characteristic equations have threefold roots.

The multiplicities 4 correspond to 6 isomorphism classes. Tables of multiplication of representatives of classes are given below.

$\Gamma_{31}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
$e_2$	$e_1$	$0$	$0$
$e_3$	$e_1$	$0$	$0$

$\Gamma_{32}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
$e_2$	$e_2$	$e_3$	$0$
$e_3$	$e_3$	$0$	$0$

$\Gamma_{31}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$-e_1$	$-e_4$	$-e_3$
$e_3$	$e_3$	$e_4$	$0$	$0$
$e_4$	$e_4$	$-e_3$	$0$	$0$

$\Gamma_{42}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$0$	$0$	$0$
$e_3$	$e_3$	$0$	$0$	$0$
$e_4$	$e_4$	$0$	$0$	$0$

$\Gamma_{43}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$e_3$	$0$	$0$
$e_3$	$e_3$	$0$	$0$	$0$
$e_4$	$e_4$	$0$	$0$	$0$

$\Gamma_{44}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$e_4$	$0$	$0$
$e_3$	$e_3$	$0$	$0$	$0$
$e_4$	$e_4$	$0$	$0$	$0$

$\Gamma_{45}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$e_4$	$0$	$0$
$e_3$	$e_3$	$0$	$-e_4$	$0$
$e_4$	$e_4$	$0$	$0$	$0$

$\Gamma_{46}$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$e_4$	$e_4$	$0$
$e_3$	$e_3$	$e_4$	$0$	$0$
$e_4$	$e_4$	$0$	$0$	$0$

In HNS, the characteristic equation has a double pair of complex conjugate roots:  $\lambda_{1,2}=m_1 \pm im_2$ ;  $\lambda_{3,4}=m_1 \pm im_2$ . The remaining HNS have real fourfold roots  $\lambda_{1,2,3,4}=m_1$ . Therefore, judging by the characteristic roots, it can always be asserted that the system is not isomorphic to any of the other systems and vice versa. But about isomorphism in the totality of systems  $\Gamma_{42}, \Gamma_{43}, \Gamma_{44}, \Gamma_{45}, \Gamma_{46}$  only according to the characteristic roots nothing can be said. Their non-isomorphism was established by directly solving the systems of equations (6), which took a very long time.

**Practical example.** As an example, consider a pair of HNS: a bicomplex system  $C \oplus C(e,4)$  and a system of quadriples numbers whose multiplication tables are given below,  $K(f,4)$  and we solve the question of their isomorphism.

$C \oplus C$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$0$	$0$
$e_2$	$e_2$	$-e_1$	$0$	$0$
$e_3$	$0$	$0$	$e_3$	$e_4$
$e_4$	$0$	$0$	$e_4$	$-e_3$

$K$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_2$	$e_2$	$-e_1$	$e_4$	$e_3$
$e_3$	$e_3$	$e_4$	$-e_1$	$-e_2$
$e_4$				$e_1$

We assume that the isomorphism operator has the most general form

$$L: \begin{cases} e_1 = x_{11}f_1 + x_{12}f_2 + x_{13}f_3 + x_{14}f_4; \\ e_3 = x_{31}f_1 + x_{32}f_2 + x_{33}f_3 + x_{34}f_4; \\ e_2 = x_{21}f_1 + x_{22}f_2 + x_{23}f_3 + x_{24}f_4; \\ e_4 = x_{41}f_1 + x_{42}f_2 + x_{43}f_3 + x_{44}f_4 \end{cases} \quad (19)$$

Since the unit elements of these systems are correspondingly  $\varepsilon_{C \oplus C} = e_1 + e_3$ ,  $\varepsilon_K = f_1$ , then the first equation of system (19) could be taken  $e_1 + e_3 = f_1$  in such a way that it would somewhat simplify the problem. However, to demonstrate the universality of the method, we will not use this simplifying preliminary information. To solve the problem by the traditional method, it is necessary to compile a system (6), which in this case will consist of 24 quadratic equations [1].

$$\begin{aligned} x_{21}^2 - x_{22}^2 &= -1; & 2x_{21}x_{22} &= 0; \\ x_{23}^2 - x_{24}^2 &= -1; & 2x_{23}x_{24} &= 0; \\ x_{31}^2 - x_{32}^2 &= -1; & 2x_{31}x_{32} &= 0; \\ x_{33}^2 - x_{34}^2 &= -1; & 2x_{33}x_{34} &= 0; \\ x_{41}^2 - x_{42}^2 &= 1; & 2\alpha_{41}\alpha_{42} &= 0; \\ x_{43}^2 - x_{44}^2 &= 1; & 2x_{43}x_{44} &= 0; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} x_{21}x_{31} - x_{22}x_{32} &= x_{41}; & x_{22}x_{31} + x_{21}x_{32} &= x_{42}; \\ x_{23}x_{33} - x_{24}x_{34} &= x_{43}; & x_{23}x_{34} + x_{24}x_{33} &= x_{44}; \\ x_{21}x_{41} - x_{22}x_{42} &= -x_{31}; & x_{22}x_{41} + x_{21}x_{42} &= -x_{32}; \\ x_{23}x_{43} - x_{24}x_{44} &= -x_{33}; & x_{23}x_{44} + x_{24}x_{43} &= -x_{34}; \\ x_{31}x_{41} - x_{32}x_{42} &= -x_{21}; & x_{32}x_{41} + x_{31}x_{42} &= -x_{22}; \\ x_{33}x_{43} - x_{34}x_{44} &= -x_{23}; & x_{33}x_{44} + x_{34}x_{43} &= -x_{24}. \end{aligned}$$

It should be noted that the relationship between the unitary elements is taken into account. Otherwise, the number of equations in the system (20) would increase to 40. As we see, the equations of the quadratic system (20) have a complicated structure, and a large combinatoriality arises when solving. As the solution shows with the help of the system of symbolic computation MAPLE, it has 8 solutions that satisfy the condition  $\|A\| \uparrow 0$ . Therefore, we can conclude that the systems  $C \oplus C(e,4)$  and  $K(f,4)$  are also isomorphic.

We give one of the non-degenerate solutions of system (20):

$$\begin{aligned} x_{11} &= 1; & x_{12} &= 0; & x_{13} &= 1; \\ x_{14} &= 0; & x_{21} &= 0; & x_{22} &= -1; & x_{23} &= 0; & x_{24} &= 1; \\ x_{31} &= 0; & x_{32} &= -1; & x_{33} &= 0; \\ x_{34} &= -1; & x_{41} &= -1; & x_{42} &= 0; & x_{43} &= 1; & x_{44} &= 0. \end{aligned} \quad (21)$$

The direct and inverse isomorphism operators take the corresponding form:

$$L: \begin{cases} f_1 = e_1 + e_3; & f_3 = -e_2 - e_4; \\ f_2 = -e_2 + e_4; & f_4 = -e_1 + e_3 \end{cases},$$

$$L^{-1}: \begin{cases} e_1 = \frac{1}{2}f_1 - \frac{1}{2}f_4; & e_2 = -\frac{1}{2}f_2 - \frac{1}{2}f_3; \\ e_3 = \frac{1}{2}f_1 + \frac{1}{2}f_4; & e_4 = \frac{1}{2}f_2 - \frac{1}{2}f_3 \end{cases} \quad (22)$$

We solve the same problem by means of representations of exponentials. Let  $M = \sum_4 m_j e_j \in C \oplus C$ ,  $N = \sum_4 n_j f_j \in K$ . Then, as shown in [1]:

$$\begin{aligned} Exp(N) &= \frac{1}{2}e^{n_1} [(e^{-n_4} \cos(n_2 + n_3) + e^{n_4} \cos(-n_2 + n_3)) \\ & f_1 + (e^{-n_4} \sin(n_2 + n_3) - e^{n_4} \sin(-n_2 + n_3)) f_2 + \\ & + (e^{-n_4} \sin(n_2 + n_3) + e^{n_4} \sin(-n_2 + n_3)) \\ & f_3 + (-e^{-n_4} \cos(n_2 + n_3) + e^{n_4} \cos(-n_2 + n_3)) f_4]. \end{aligned}$$

$$Exp(M) = e^{m_1} (\cos m_2 \cdot e_1 + \sin m_2 \cdot e_2) + e^{m_3} (\cos m_4 \cdot e_3 + \sin m_4 \cdot e_4)$$



We translate these representations into a normal form, for which instead of trigonometric functions one must substitute their expressions in terms of exponentials with imaginary exponents by the Euler formula, and make a rearrangement of the terms. As a result, we get the same expressions, but with different constants and characteristic roots

$$Exp(K) = C_1 e^{\lambda_1} + \overline{C_1} e^{\overline{\lambda_1}} + C_2 e^{\lambda_2} + \overline{C_2} e^{\overline{\lambda_2}}, \quad (23)$$

where for system  $C \oplus C(e, 4)$

$$K = N, \quad C_1 = \frac{1}{2}(e_1 - ie_2), \quad C_2 = \frac{1}{2}(e_3 - ie_4),$$

$$\lambda_1 = \mu_1 = m_1 + im_2, \quad \lambda_2 = \mu_2 = m_3 + im_4,$$

and for system  $K(f, 4)$

$$K = M, \quad C_1 = \frac{1}{4}(f_1 - if_2 - if_3 - f_4),$$

$$C_2 = \frac{1}{4}(f_1 + if_2 - if_3 + f_4), \quad (24)$$

$$\lambda_1 = \nu_1 = m_1 - m_4 + i(m_3 + m_2),$$

$$\lambda_2 = \nu_2 = m_1 + m_4 + i(m_3 - m_2).$$

Already from the fact that the exponent representations in both HNS have one type of set of roots of characteristic equations: two different pairs of complex roots, allow us to conclude about the isomorphism of systems  $C \oplus C(e, 4)$  and  $K(f, 4)$ . And this despite the fact that there is no need to solve a cumbersome quadratic system (20).

This trip allows one to obtain an explicit form of linear transformation (19). Let us construct the law of the transformation of numbers under an isomorphic transition. From relation

$$M = \sum_{j=1}^4 m_j e_j \Leftrightarrow \sum_{j=1}^4 n_j f_j = N \quad (25)$$

and result

$$n_i = \sum_{j=1}^4 m_j x_{ij}, \quad i = 1, \dots, 4. \quad (26)$$

The desired conversion  $L$  must translate the representation in the system  $C \oplus C(e, 4)$  into a representation in the system  $K(f, 4)$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}[(e_1 - ie_2)e^{\mu_1} + (e_1 + ie_2)e^{\overline{\mu_1}} + \\ & + (e_3 - ie_4)e^{\mu_2} + \frac{1}{2}(e_3 + ie_4)e^{\overline{\mu_2}}] \stackrel{L}{\Leftrightarrow} \\ & \stackrel{L}{\Leftrightarrow} \frac{1}{4}[(f_1 - if_2 - if_3 - f_4)e^{\nu_1} + (f_1 + if_2 + if_3 - f_4)e^{\overline{\nu_1}} + \\ & + (f_1 + if_2 - if_3 + f_4)e^{\nu_2} + (f_1 - if_2 + if_3 + f_4)e^{\overline{\nu_2}}]. \end{aligned} \quad (27)$$

We substitute the transformation (19) into the left-hand side of (27):

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(x_{11}f_1 + x_{12}f_2 + x_{13}f_3 + x_{14}f_4 - i(x_{21}f_1 + x_{22}f_2 + x_{23}f_3 + x_{24}f_4))e^{\mu_1} + \\ & + \frac{1}{2}(x_{11}f_1 + x_{12}f_2 + x_{13}f_3 + x_{14}f_4 + i(x_{21}f_1 + x_{22}f_2 + x_{23}f_3 + x_{24}f_4))e^{\overline{\mu_1}} + \\ & + \frac{1}{2}(x_{31}f_1 + x_{32}f_2 + x_{33}f_3 + x_{34}f_4 - i(x_{41}f_1 + x_{42}f_2 + x_{43}f_3 + x_{44}f_4))e^{\mu_2} + \\ & + \frac{1}{2}(x_{31}f_1 + x_{32}f_2 + x_{33}f_3 + x_{34}f_4 + i(x_{41}f_1 + x_{42}f_2 + x_{43}f_3 + x_{44}f_4))e^{\overline{\mu_2}} \stackrel{L}{\Leftrightarrow} \\ & \stackrel{L}{\Leftrightarrow} \frac{1}{4}(f_1 - if_2 - if_3 - f_4)e^{\nu_1} + \frac{1}{4}(f_1 + if_2 + if_3 - f_4)e^{\overline{\nu_1}} + \\ & + \frac{1}{4}(f_1 + if_2 - if_3 + f_4)e^{\nu_2} + \frac{1}{4}(f_1 - if_2 + if_3 + f_4)e^{\overline{\nu_2}}. \end{aligned} \quad (28)$$

Since the correspondence (28) must be satisfied for any values of the roots  $\nu$  and  $\nu$ , then the coefficients  $x_{ij}$  can be found by the method of undetermined coefficients with respect to the exponentials. Here, you can combine these coefficients in different ways. In this case, transformations of various types can be obtained, including degenerate ones (which do not satisfy the condition  $\|A\| \uparrow 0$ ). Degenerate transformations indicate an unacceptable way of combining. Let's choose a way of combining the coefficients:

$$\mu_1 \Leftrightarrow \nu_1; \quad \overline{\mu_1} \Leftrightarrow \overline{\nu_1}; \quad \mu_2 \Leftrightarrow \nu_2; \quad \overline{\mu_2} \Leftrightarrow \overline{\nu_2}. \quad (29)$$

This correspondence will give a system of 4 equations that, by the method of undetermined coefficients relative to the basis elements and the imaginary unit, will yield a system of 16 very simple linear equations

$$\begin{aligned} 2x_{11} - 2ix_{21} &= 1 & 2x_{12} - 2ix_{22} &= -i & 2x_{13} - 2ix_{23} &= -i \\ 2x_{11} + 2ix_{21} &= 1 & 2x_{12} + 2ix_{22} &= i & 2x_{13} + 2ix_{23} &= i \\ 2x_{31} - 2ix_{41} &= 1 & 2x_{32} - 2ix_{42} &= i & 2x_{33} - 2ix_{43} &= -i \\ 2x_{31} + 2ix_{41} &= 1 & 2x_{32} + 2ix_{42} &= -i & 2x_{33} + 2ix_{43} &= i \\ & & 2x_{14} - 2ix_{24} &= -1 & & \\ & & 2x_{14} + 2ix_{24} &= 1 & & \\ & & 2x_{34} - 2ix_{44} &= 1 & & \\ & & 2x_{34} + 2ix_{44} &= 1 & & \end{aligned} \quad (30)$$

the solution of which has the form

$$\begin{aligned} x_{11} &= \frac{1}{2}, \quad x_{12} = 0, \quad x_{13} = 0, \quad x_{14} = \\ & = -\frac{1}{2}, \quad x_{21} = 0, \quad x_{22} = \frac{1}{2}, \quad x_{23} = \frac{1}{2}, \quad x_{24} = 0 \\ x_{31} &= \frac{1}{2}, \quad x_{32} = 0, \quad x_{33} = 0, \quad x_{34} = \frac{1}{2}, \\ x_{41} &= 0, \quad x_{42} = -\frac{1}{2}, \quad x_{43} = \frac{1}{2}, \quad x_{44} = 0, \end{aligned} \quad (31)$$

and the isomorphism operator

$$L: \begin{cases} e_1 = \frac{1}{2}(f_1 - f_4); & e_2 = \frac{1}{2}(f_2 + f_3); \\ e_3 = \frac{1}{2}(f_1 + f_4); & e_4 = \frac{1}{2}(-f_2 + f_3). \end{cases} \quad (32)$$

which differs from (22). This is because the isomorphism operator can not be unique. The implementation of a particular type of operator depends on the

method of combining the roots (29) in the compilation of the system (30). In any case, as is easily seen directly, the resulting operator takes the system of quadriplex numbers  $K(f,4)$  to a system of bicomplex numbers  $C \oplus C(e,4)$ .

So, for example,

$$e_3 e_4 = \frac{1}{4}(-f_2 + f_3 + f_3 - f_2) = \frac{1}{2}(-f_2 + f_3) = e_4$$

that corresponds to the multiplication table of the Keli system  $C \oplus C(e,4)$ . It is also easy to verify directly with the aid of (26) that the operator (32) satisfies (29).

**Conclusions.** Thus, the method of investigating the isomorphism of hypercomplex number systems by analyzing the representations of exponential functions in these systems with single roots of the characteristic equation of HNS makes it possible to significantly improve the efficiency of algorithms for solving systems of isomorphism equations by eliminating the need for solving cumbersome systems of quadratic equations. At the same time, it should be noted that the presence of multiple roots of the characteristic equations requires additional studies, which will be performed in the future.

#### References:

1. Bleyhut R. Fast algorithms for digital signal processing. Moscow, 1989. 449 p.
2. Nussbaumer G. Fast Fourier transform and computation algorithms. Moscow, 1985. 248 p.
3. Kantor I., Solodovnikov A. Hypercomplex number. Moscow, 1973. 144 p.
4. Sinkov M., Kalinovsky Ya., Boyarinova Yu. Finite-dimensional hypercomplex number systems. Fundamentals of the theory. Applications. Kyiv, 2010. 389 p.
5. Sinkov M., Kalinovsky Ya., Boyarinova Yu., Sinkova T., Fedorenko O. Hypercomplex number systems: the basics of theory, practical use, bibliography. Kyiv, 2009. 44 p.
6. Chaitin-Chatelin F., Meskauskas T., Zaoui A. Computation with Hypercomplex Numbers. GERFACS Technical Report TR/PA/00/69. URL: <http://www.gerfacs.fr>.
7. Kurosh A. Lectures on general algebra. Moscow, 1973. 400 p.
8. Kalinovsky Ya., Boyarinova Yu. High-dimensional isomorphic hypercomplex numerical systems and their use to improve the efficiency of computation. Kyiv, 2012. 183 p.
9. Toyoshima H. Computationally Efficient Implementation of Hypercomplex Digital Filters. IEICE Trans. Fundamentals. 2002. Aug. E85-A. 8. P. 1870–1876.
10. Sinkov M., Kalinovsky Ya., Boyarinova Yu., Fedorenko O., Postnikova T., Sinkova T. Research and use of hypercomplex numerical systems in the problems of dynamics, cinematics and coding information application. Kyiv, 2007. P. 21–34.
11. Kalinovsky Y. Methods of Computer Modeling and Computing Using Hypercomplex Numerical Systems: diss. Dr. of Technic Sciences: 01.05.02; Institute for Information Recording of NAS of Ukraine. Kyiv, 2007. 417 p.
12. Sinkov M., Kalinovsky Ya., Roenko N. Building nonlinear functions in quaternion and other hypercomplex number systems for the solution of applied mechanics problem. Poland, 1994. P. 170–177.
13. Kalinovsky Y., Roenko N., Sinkov M. Methods for constructing nonlinearities in extensions of complex numbers. Cybernetics and systems analysis. 1996. № 4. P. 178–181.
14. Kalinovsky Ya., Lande D., Boyarinova Yu., Hitsko Ya. Hypercomplex Numerical Systems and Fast Algorithms for Digital Information Processing. Kyiv, 2014. 130 p.

#### ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ ИЗОМОРФИЗМА ГИПЕРКОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЛОВЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

*В статье исследуется метод определения изоморфизма гиперкомплексных числовых систем путем анализа представления экспоненциальных функций в этих системах. Показано, что такой подход значительно повышает эффективность алгоритмов решения систем уравнений для определения изоморфизма.*

**Ключевые слова:** гиперкомплексные числовые системы, изоморфизм, экспоненциальные функции, решения систем уравнений, экспоненциальное представление.

#### ПОБУДОВА ЕФЕКТИВНИХ АЛГОРИТМІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ СИСТЕМ РІВНЯНЬ ІЗОМОРФІЗМУ ГІПЕРКОМПЛЕКСНИХ ЧИСЛОВИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ

*У статті досліджується метод визначення ізоморфізму гіперкомплексних цифрових систем за допомогою аналізу представлення експоненціальних функцій у цих системах. Показано, що такий підхід значно підвищує ефективність алгоритмів розв'язання систем рівнянь для визначення ізоморфізму.*

**Ключові слова:** гіперкомплексні числові системи, ізоморфізм, експоненціальні функції, розв'язання систем рівнянь, експоненціальне представлення.

УДК 004.33(035)

**Куваева В.И.**

Одесский национальный политехнический университет

**Болтенков В.А.**

Одесский национальный политехнический университет

**Позняк А.В.**

Одесский национальный политехнический университет

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АГРЕГИРОВАННОЙ КОНСЕНСУСНОЙ РАНГОВОЙ ОЦЕНКИ

*Исследованы методы предварительной обработки экспертной информации в задачах построения агрегированных консенсусных ранжирований. Показана некорректность применяемых процедур редукции исходного множества альтернатив, снижающая согласованность экспертизы. Предложен метод отсева незначимых альтернатив, основанный на коэффициенте конкордации.*

**Ключевые слова:** экспертное оценивание, консенсусное агрегирование, ранговые предпочтения, коэффициент конкордации.

**Постановка проблемы.** Задача построения коллективной оценки или агрегирования ранговых предпочтений берет свое начало в теории социального выбора, первые формулировки которой относятся к концу XVIII в. и связаны с именами Ж.-Ш. де Борда и Н. де Кондорсе, предложившими первые теории голосования [1]. В последнее десятилетие эта задача привлекает внимание исследователей как полезный инструмент для коллективного экспертного оценивания, выбора подобных объектов и других прикладных информационных технологий. Успешное решение задачи агрегирования рангов зависит от предварительной обработки сформулированных участниками коллективного оценивания индивидуальных предпочтений. Однако в литературе отсутствует систематическое, формализованное и корректное изложение методов предварительной обработки экспертной ранговой информации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Процессы построения консенсусных агрегированных ранжирований рассматриваются достаточно давно [2; 3]. В последние годы они получили дальнейшее развитие [1; 4]. Но вопросы предварительной обработки ранговой экспертной информации рассмотрены достаточно фрагмен-

тарно [5], а в работах [6; 7] изложены методы, приводящие к некорректным результатам.

**Постановка задания.** Целями статьи являются анализ состоятельности применяемых методов предварительной обработки ранговых предпочтений, формулировка методов, не снижающих согласованности коллективного ранжирования, и практическое подтверждение их корректности.

**Изложение основного материала исследования.** Формализация задачи. Пусть задано множество альтернатив  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , подлежащих упорядочению коллективом из  $K$  экспертов по какому-либо критерию (или набору критериев). Каждый из экспертов  $k$  ( $k = 1, \dots, K$ ) упорядочивает альтернативы и представляет индивидуальное предпочтение в виде ранжирования

$$P^k = \{A_{k_1}, A_{k_2}, \dots, A_{k_n}\}. \quad (1)$$

При этом образуется множество из  $K$  индивидуальных ранжирований

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}. \quad (2)$$

Предполагается, что каждый из экспертов может установить в индивидуальном предпочтении как строгий порядок на множестве альтернатив, так и слабый порядок, т. е. ввести одинаковые ранги для «неразличимых» альтернатив. Например, для множества  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$  может быть

введено ранжирование  $\langle a_1 \succ a_2 \succ a_3 \sim a_4 \succ a_5 \rangle$ , где знак  $\succ$  означает «предпочтительнее, чем  $\langle \dots \rangle$ », знак  $\sim$  – «равнозначно с  $\langle \dots \rangle$ ». Альтернативы с одинаковыми рангами в русскоязычной литературе называют альтернативами со «связанными рангами», в англоязычной – ties (т. е. ничьими).

Задачей формирования агрегированной консенсусной ранговой оценки является построение коллективного ранжирования  $\hat{P}$ , ближайшего по некоторой введенной мере ко всем индивидуальным ранжированиям, т. е.

$$\arg \min_{P} \sum_{k=1}^K d(P^k, P) \rightarrow \hat{P}. \quad (3)$$

Решение задачи (3) называется консенсусным ранжированием и является результатом коллективного экспертного оценивания.

Общая схема обработки информации при формировании консенсусного ранжирования представлена на рис. 1.

После формирования индивидуальных предпочтений экспертов производится предварительная обработка экспертной информации, включающая стандартизацию рангов и оценку согласованности коллективной ранговой матрицы, подлежащей агрегированию. Собственно, процедура агрегирования предпочтений не является предметом настоящего исследования, им посвящены многочисленные публикации, например [8]. Рассмотрим необходимые процедуры предварительной обработки, от корректности применения которых существенно зависит достоверность последующей агрегированной консенсусной оценки в целом.

**Стандартизация рангов** является обязательной процедурой обработки экспертной информации, хотя выполняется далеко не всегда, а иногда выполняется не вполне корректно. При ранжировании эксперт располагает альтернативы в

порядке, который представляется ему наиболее рациональным, и приписывает каждой из них числа натурального ряда – ранги: 1, 2, 3 и так далее. Ранговая шкала по определению должна удовлетворять условию равенства числа рангов числу ранжируемых альтернатив [9]. Сумма рангов, полученная в результате ранжирования  $n$  альтернатив, должна быть равна сумме  $n$  последовательных чисел натурального ряда (натуральной арифметической прогрессии):

$$\sum_{i=1}^n r_i = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (4)$$

Как указано выше, если эксперт не может отдать однозначного предпочтения одному из ранжируемых элементов (поскольку эксперт не является «идеальным измерительным инструментом» и имеет свою индивидуальную «разрешающую способность»), он приписывает им одинаковые (связанные) ранги. Эта ситуация нарушает правило (4) – количество рангов оказывается не равным числу альтернатив. В содержательном смысле присвоение  $m$  альтернативам равных рангов является сужением экспертом размаха ранговой шкалы от  $n$  до  $m$ . В случае индивидуальной экспертизы такая ситуация не меняет кардинально ее результат. В случае же консенсусного агрегирования индивидуальных экспертных ранжирований при различном числе связанных рангов  $m$  у разных экспертов агрегированию подлежат  $n$  ранжирования с разным размахом ранговой шкалы, что недопустимо. В таких случаях необходимо провести процедуру стандартизации рангов.

В. Куком и Сейфордом [2; 11] была предложена концепция дробных рангов: когда  $s$  альтернатив имеют в ранжировании один и тот же ранг  $p$ , т. е. они занимают в ранжировании позиции  $(p, p+1, \dots, p+s-1)$ , им назначается дробный ранг, определяемый как среднее арифметическое значение:

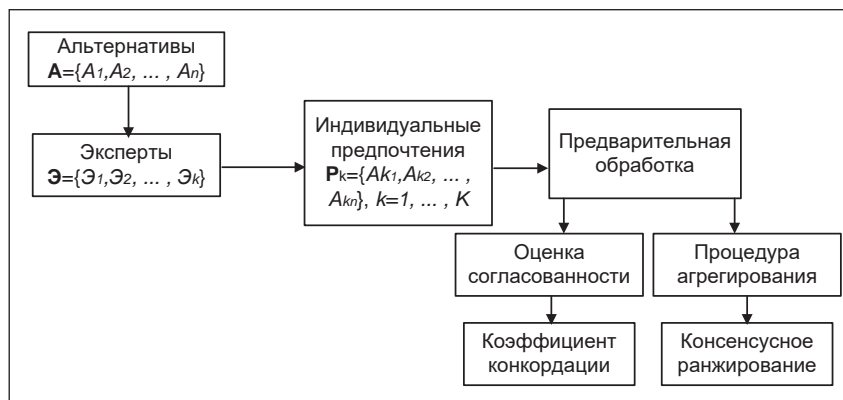


Рис. 1. Схема обработки информации при формировании консенсусного ранжирования

$$t = \frac{p + (p+1) + \dots + (p+s-1)}{s} \quad (5)$$

$$= \frac{2p + (s-1)}{2s} s = p + \frac{s-1}{2}$$

Полученное по формуле (5) значение имеет вид  $v + \frac{1}{2}$  для любого четного  $s$  и является целым числом в противном случае ( $p, s, v$  – целые числа). Дробный ранг  $v + \frac{1}{2}$  удобен для содержательной трактовки: альтернатива с таким рангом занимает в ранжировании позицию между  $v$ -й и  $(v + 1)$ -й.

Процедура стандартизации рангов (иногда называемая «развязыванием рангов»), основанная на концепции дробных рангов, состоит в том, что каждой группе альтернатив, имеющих один и тот же повторяющийся ранг, присваивается ранг, равный среднему значению занимаемых мест. Отметим, что после стандартизации рангов условие (4) выполняется всегда.

Изложим один из алгоритмов корректной стандартизации рангов [11]. Алгоритм предполагает осуществление следующих шагов:

1.  $M = \emptyset$ , где  $M$  – множество индексов, для которых уже проведена операция стандартизации. На первом шаге  $M$  – пустое множество.

2. Формируется множество  $L = \{l : r_l = \max_{k \in M} r_k\}$ , состоящее из максимальных рангов по множеству не стандартизированных к данному шагу рангов. Подсчитывается количество его элементов  $K(L)$ .

3. Проводится стандартизация для всех рангов с индексами из  $L$ .

$$K_l = \Delta_N - \frac{(K(L) - 1)}{2}, \text{ где } \Delta_N = \begin{cases} \Delta_1 = n, M = 0 \\ \Delta_N = \Delta_{N-1} - K(L). \end{cases}$$

4. Изменяем множество  $M$ , так что  $M = M \cup L$ ; если  $M = \overline{1, n}$ , то работа алгоритма заканчивается, в противном случае переходим к шагу 2.

Приведенный алгоритм реализован в системе компьютерной математики Scilab. На рис. 2 приведен фрагмент программного кода стандартизации рангов.

Редукция исходного множества альтернатив. На основании индивидуальных ранжирований может быть построена ранговая матрица альтернатив

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & r_{ij} & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nk} \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, K, \quad (6)$$

```

disp (A);
C=A;
T=0;
Q=zeros(10,30);//формируем единичную матрицу, куда потом будем записывать значения
после ранжирования
//процедура развязывания рангов
for i=1:10
    N=30;//количество элементов в строке
    S=0;
    while S<30//пока все ранги в строке не будут равны 0 делаем:
        M=max(C(i,:));//максимальный элемент по строке
        K=sum(C(i,:)==M);//количество максимальных элементов
        if K>1 then
            T=T+K;//записываем количество повторяющихся рангов по всей матрице
        end
        B=N-((K-1)/2);//подсчет нового ранга
        N=N-K;//уменьшаем количество рангов, которые необходимо проверить
        for j=1:30
            if C(i,j)==M then //находим все максимальные элементы в начальной матрице
                Q(i,j)=B;//записываем в новую матрицу значение ранжирования
                C(i,j)=0;//обнуляем ранг
            end
            S=sum(C(i,:)==0);
        end
    end
end
disp ("Процедура развязывания рангов:");
disp (Q);

```

Рис. 2. Фрагмент программного кода Scilab для стандартизации рангов экспертной матрицы

где  $r_{ij}$  – ранг, присвоенный  $i$ -й альтернативе в индивидуальном ранжировании  $j$ -го эксперта.

Обычно исходное множество альтернатив имеет достаточно большую размерность, большую, чем требуется для получения состоятельной агрегированной консенсусной оценки. Это связано с различными причинами, и чаще всего с тем, что постановщик задачи коллективного экспертного оценивания стремится «увеличить ее состоятельность» путем учета максимально возможного числа альтернатив. В то же время доказано, что аксиоматически обоснованные методы консенсусного агрегирования индивидуальных ранжирований (в частности, медианные методы) представляют собой NP-задачи, т. е. задачи непolynomialной вычислительной сложности, для которых процессорное время счета стремительно растет с ростом размерности множества альтернатив  $A$ . Поэтому дальнейшим этапом предварительной обработки альтернатив является выделение «значимых альтернатив» с последующим удалением тех альтернатив, которые не попали в подмножество значимых. На этом этапе часто применяется метод суммарного ранга, согласно которому в матрице  $R$  построчно суммируются ранги, набранные каждой альтернативой у всех  $K$  экспертов. Далее суммарный ранг альтернативы по строке принимается за характеристику ее значимости [6; 7]. В некоторых вариантах суммарные ранги альтернатив складываются, рассчитывается вес альтернативы  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  как отношение ее суммарного ранга по строке к общей сумме рангов. После этого вводится некоторый порог (или по сумме рангов, или по весу альтернативы) и альтернатива, характеристика которой меньше порогового значения, объявляется незначимой и исключается из дальнейшей обработки. Далее будет показана некорректность такой методики.

Помимо консенсусного ранжирования в результате агрегирования индивидуальных предпочтений, большое значение имеет достоверность коллективной экспертной оценки. Оценки достоверности коллективной экспертной оценки базируются на коэффициенте конкордации Кенделла, который характеризует непротиворечивость ранговой матрицы  $R$ . Рассмотрим этот коэффициент более детально с использованием результатов работы [12].

**Коэффициент конкордации Кенделла** определяется как отношение дисперсии  $D$ , отражающей реальный разброс между ранжированиями, к величине  $D_{\max}$ , характеризующей максимально возможный разброс между ними:

$$W = D/D_{\max}. \quad (7)$$

Дисперсия рассчитывается как

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2, \quad (8)$$

$$\text{где } r_i = \sum_{j=1}^K r_{ij}, (i = 1, \dots, n), \bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i.$$

Для упрощения вычислений, выразим средний ранг  $\bar{r}$  через количество оцениваемых альтернатив  $n$  и количество экспертов  $K$ , принявших участие в экспертизе. Для этого вычислим сумму рангов, которые приписываются альтернативам каждым экспертом

$$r_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}, j = 1, \dots, K \quad (9)$$

в связи с выполненной ранее стандартизацией рангов. Средний ранг запишем так:

$$\bar{r} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^K \frac{n(n+1)}{2} = \frac{(n+1)K}{2}. \quad (10)$$

Теперь с использованием очевидного равенства

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K r_{ij} = n\bar{r} \quad (11)$$

преобразуем выражение (8):

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2 = \\ &= \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^K r_{ij} \right)^2 - 2\bar{r} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K r_{ij} - n\bar{r}^2 \right] = \\ &= \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^K r_{ij} \right)^2 - n\bar{r}^2 \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Из (12) видно, что максимальное значение дисперсии достигается при наибольшем значении первого члена в квадратных скобках. В свою очередь, наибольшего значения этот член достигает тогда, когда у всех экспертов оценки оказались одинаковыми, т. е. все индивидуальные ранжирования одинаковы. В случае одинаковых ранжирований каждая строка в матрице будет содержать одинаковые целые ранги  $i$ , а значит, величину, возводимую в квадрат, можно представить в виде:

$$\sum_{j=1}^K r_{ij} = iK, \quad (13)$$

где  $i$  – величина среднего ранга, в данном случае – целое число.

Теперь величина первого члена в квадратных скобках может быть выражена через  $n$  и  $K$ :

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^K r_{ij} \right)^2 = K^2 \sum_{i=1}^n i^2 = \frac{K^2(n+1)(2n+1)n}{6}. \quad (14)$$

Это максимально возможное значение для случая, когда оценивалось  $n$  альтернатив группой из  $K$  экспертов и ранжирования полностью совпали. Если изменится хотя бы одно из ранжирований, то

сумма уменьшится. Действительно, перестановка рангов в одном из ранжирований приведет к изменению некоторых  $i$  под знаком суммирования. Причем, если  $i_1 < i_2$ , то  $i_1$  возрастет на величину  $(i_1 - i_2) / K$ , а  $i_2$  - уменьшится на эту же величину. Тогда можно оценить, как изменится в целом вся сумма в зависимости от тех изменений, которые произошли с двумя слагаемыми:

$$\begin{aligned} & (i_1 + \frac{i_2 - i_1}{K})^2 + (i_2 + \frac{i_2 - i_1}{K})^2 = \\ & = i_1^2 + i_2^2 + 2(\frac{i_2 - i_1}{K})(-i_2 - i_1) + \frac{i_2 - i_1}{K} \end{aligned} \quad (15)$$

Из выражения (15) следует, что сумма уменьшается на величину дополнительного слагаемого, которое всегда отрицательно. Следовательно, дисперсия имеет максимальное значение только в случае полного совпадения мнений экспертов. Подставляя (14) в (12) и расписывая  $\bar{r}$ , получаем выражение для вычисления значения максимальной дисперсии.

$$\begin{aligned} D_{\max} &= \frac{K^2(n+1)(2n+1)n}{6} - \\ & - \frac{n(n-1)^2 K^2}{4} = \frac{K^2(n^3 - n)}{12(n-1)} \end{aligned} \quad (16)$$

Когда дисперсия равна нулю, имеет смысл рассматривать случай  $K = n$ . Именно в этом случае возникает ситуация, когда один и тот же объект оценивается экспертами по-разному, т. е. все  $n$  ранжирований различны. А для разных ранжирований первый член в выражении (12) равен

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^K r_{ij} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{K(K+1)}{2} \right)^2 = \frac{K^2(K+1)^2 n}{4} \quad (17)$$

При  $K = n$  полученное выражение полностью совпадает с выражением для  $n\bar{r}^2$ , следовательно, величина дисперсии в рассматриваемом случае равна нулю. Если ввести обозначение

$$D = \frac{1}{n-1} S, \quad (18)$$

$$\text{где } S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^K r_{ij} - \bar{r} \right)^2,$$

получим окончательное выражение Кенделла для коэффициента конкордации

$$W = \frac{12S}{K^2(n^3 - n)}. \quad (19)$$

В [10] показано, что все изложенное справедливо и для дробных рангов, кратных  $\frac{1}{2}$ , образующихся в результате стандартизации рангов. Если в полученных ранжировках есть связанные ранги, то коэффициент конкордации нужно скорректировать, так как максимальное значение дисперсии

становится меньше, чем в случае отсутствия связанных рангов. Скорректированный коэффициент конкордации вычисляется по формуле

$$W = \frac{12S}{K^2(n^3 - n) - K \sum_{j=1}^K T_j}, \quad (20)$$

где  $T_j$  - показатель связанных рангов в  $j$ -м ранжировании

$$T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k).$$

Здесь  $H_j$  - число групп равных рангов в  $j$ -м ранжировании,  $h_k$  - число равных рангов в  $k$ -й группе связанных рангов в ранжировании, полученном от  $j$ -эксперта.

Коэффициент конкордации  $W$  равен 1 в тех случаях, когда индивидуальные ранжирования экспертов по всем объектам полностью совпадают, и равен 0, когда все ранжирования различны. В остальных случаях его значения удовлетворяют неравенству  $0 < W < 1$ , причем, чем ближе значение  $W$  к 1, тем теснее связь между ранжировками и надежнее агрегированная консенсусная оценка.

Коэффициент конкордации, вычисленный по выражениям (19) или (20), является статистической точечной оценкой истинного значения и представляет собой случайную величину. Поэтому возникает необходимость в проверке значимости статистической оценки. Если число альтернатив  $n > 7$ , то значимость оценки коэффициента конкордации проверяется с помощью критерия  $\chi^2$ . Доказано [13], что при  $n > 7$  величина

$$\chi^2 = WK(n-1), \quad (21)$$

имеет  $\chi^2$ -распределение с  $\nu = n - 1$  степенями свободы. Если в некоторых ранжировках есть связанные ранги, то для проверки значимости коэффициента конкордации используется статистика:

$$\chi^2 = \frac{12S}{Kn(n+1) - (n-1)^{-1} \sum_{j=1}^K T_j}. \quad (22)$$

Для проверки значимости коэффициента конкордации вычисляется статистика хи-квадрат по выражениям (21) или (22) и сравнивается с табличным значением  $\chi_{\alpha, \nu}^2$  для заданного уровня значимости  $\alpha$  для  $\nu = n - 1$  степеней свободы. В случае  $\chi^2 > \chi_{\alpha, \nu}^2$  гипотеза о значимости коэффициента конкордации принимается.

Вернемся к вопросу об определении значимости альтернатив с последующим исключением по сумме рангов наименее значимых. Для этого рассмотрим иллюстративный пример: пусть  $n = 2$  альтернативы рассмотрены  $K = 6$  экспертами и матрица рангов имеет следующий вид:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Ранжирования по строкам противоположны, расчетный коэффициент конкордации  $W = 0$  (в случае нечетного числа экспертов он мало отличается от нуля за счет совпадения среднего по строке ранга). Это говорит о несостоятельности коллективной экспертизы. В то же время, если пользоваться правилом построчной суммы рангов, обе альтернативы являются значимыми и должны быть оставлены в матрице рангов. Этот пример показывает некорректность применения правила суммарного ранга для редукции множества альтернатив, поскольку оно катастрофически искажает результаты экспертизы и ставит под сомнение ее состоятельность.

Для корректной редукции множества альтернатив предлагается следующий метод.

Шаг 1. В качестве исходного выбираем полное множество альтернатив  $A_0$  размерности  $n$ . Формируется матрица рангов для  $A_0 - R_0$ . Рассчитывается коэффициент конкордации для полного множества альтернатив  $W(R_0)$ .

Шаг 2. Полагаем счетчик  $i = 1$ . Список номеров альтернатив, подлежащих удалению, полагается пустым:  $\{List_{\bar{A}}\} = \emptyset$ .

Шаг 3. Из множества альтернатив  $A_0$  удаляем альтернативу  $A_i$ , а из матрицы  $R_0$  удаляем  $i$ -ю строку.

Шаг 4. Рассчитываем коэффициент конкордации для усеченного множества альтернатив:  $W(R_{0-i})$ .

Шаг 5. Если  $W(R_{0-i}) - W(R_0) > \Delta W$ , где  $\Delta W$  – некоторый экспериментально установленный порог, то присутствие альтернативы  $A_i$  в списке альтернатив и матрице рангов снижает согласованность коллективного консенсусного ранжирования, номер  $i$  этой альтернативы заносится в список удаляемых альтернатив –  $\{List_{\bar{A}}\} = \{List_{\bar{A}}\} + i$ .

Шаг 6.  $i = i + 1$ . Если  $i > n$ , вычисления закончены. В противном случае – переход к шагу 3.

Шаг 7. Из множества альтернатив удаляются альтернативы с номерами, содержащимися в списке  $\{List_{\bar{A}}\}$ , а из матрицы рангов удаляются строки с индексами, содержащимися в списке  $\{List_{\bar{A}}\}$ .

Предложенный метод гарантирует, что после такой редукции множества альтернатив коэффициент конкордации  $W$  возрастет по сравнению с  $W(R_0)$ , тем самым согласованность коллективного консенсусного ранжирования будет повышена и результат экспертизы станет более досто-

верным. Метод также реализован программно в системе Scilab.

**Пример практической реализации корректной редукции исходного множества альтернатив.**

Для разработки серверной части системы поддержки принятия решений (далее – СППР) абитуриентами, поступающими на ИТ-специальности Института компьютерных систем Одесского национального политехнического университета, была проведена коллективная экспертная оценка качеств, знаний и умений (далее – необходимых качеств), необходимых абитуриенту для успешного обучения на соответствующей специальности. Клиентская часть выполнена в виде Android-приложения и содержит вопросы для абитуриента, ответы на которые позволяют оценить наличие у него тех или иных качеств, знаний и навыков. В результате функционирования СППР подсказывает абитуриенту рекомендуемую для него ИТ-специальность [14].

Для оценки необходимых качеств для шести специальностей: 113 «Прикладная математика», 121 «Инженерия программного обеспечения», 122 «Компьютерные науки», 123 «Компьютерная инженерия», 126 «Информационные системы и технологии», 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии», были сформированы шесть коллективов экспертов численностью соответственно 8, 15, 16, 12, 16, 10 человек из ведущих преподавателей выпускающих кафедр. Каждому из экспертов был предложен список альтернатив, состоящий из 30 требуемых качеств (TK<sub>i</sub>), приведенный в таблице 1.

Для формирования консенсусного агрегирования результатов коллективной экспертизы по специальности 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии», в которой участвовали 10 экспертов, к полученной ранговой матрице были применены различные методы редукции множества альтернатив.

**Метод суммарных рангов.** Для выявления значимости каждой альтернативы определены коэффициенты значимости ( $K_j$ ) по формуле:

$$K_j = \frac{mn - S_j}{0,5mn(n - 1)}, \quad (23)$$

где  $S_j$  – сумма рангов по строкам для каждой альтернативы.

Для выделения из  $n$  альтернатив наиболее значимых, согласно [7] был введен порог значимости коэффициентов  $K_i \geq 1/n$  и выделены наиболее значимые альтернативы. В результате вычислений выявлено 10 наиболее значимых альтернатив: {TK1, TK2, TK3, TK28, TK22, TK25, TK23, TK26, TK27, TK11} (упорядоченность соответствует полученным коэффициентам значимости).



Расчеты коэффициента конкордации показывают следующее. Если для исходной полной матрицы рангов коэффициент конкордации  $W = 0,6615$ , для редуцированной до 10 значимых факторов коэффициент конкордации  $W = 0,1336$ , в обоих случаях значимость  $W$  подтверждена по критерию  $\chi^2$  с уровнем значимости  $\alpha = 0,95$ . Катастрофическое снижение коэффициента конкордации свидетельствует о некорректности применения метода средних рангов для редукции множества альтернатив. Объясняется такое снижение коэффициента конкордации тем, что сумма рангов никоим образом не учитывает последовательность мест, занимаемых альтернативами в индивидуальных ранжированиях экспертов.

Таблица 1

19.	Умение быстро найти необходимую информацию в интернете	TK19
20.	Умение руководить небольшой группой	TK20
21.	Умение решать нестандартные задачи	TK21
22.	Умение самостоятельно разобратся в незнакомой теме	TK22
23.	Умение убедительно объяснить свою точку зрения	TK23
24.	Стрессоустойчивость	TK24
25.	Усидчивость	TK25
26.	Дисциплинированность	TK26
27.	Широкий кругозор	TK27
28.	Стремление овладеть новыми знаниями и навыками	TK28
29.	Ораторское искусство	TK29
30.	Умение слушать	TK30

**Список альтернатив (знаний, умений, личных качеств абитуриента)**

№	Качества абитуриента	Обозначение
1.	Хорошая школьная подготовка по математике	TK1
2.	Хорошая школьная подготовка по физике	TK2
3.	Хорошая школьная подготовка по информатике	TK3
4.	Успешное участие в олимпиадах по математике	TK4
5.	Успешное участие в олимпиадах по физике	TK5
6.	Успешное участие в олимпиадах по информатике	TK6
7.	Успешное участие в работе МАН	TK7
8.	Опыт разработки программного продукта	TK8
9.	Практическое владение английским языком	TK9
10.	Практическое владение другим иностранным языком	TK10
11.	Практическое владение одним из языков программирования	TK11
12.	Опыт работы с приложениями под ОС Windows	TK12
13.	Опыт работы с приложениями под ОС Android	TK13
14.	Опыт работы с приложениями под ОС iOS	TK14
15.	Практические знания аппаратной части компьютера	TK15
16.	Практические умения по установке ОС на компьютер	TK16
17.	Практические умения по настройке домашнего Wi-Fi роутера	TK17
18.	Умение работать в команде	TK18

Расчеты коэффициента конкордации показывают следующее. Если для исходной полной матрицы рангов коэффициент конкордации  $W = 0,6615$ , для редуцированной до 10 значимых факторов коэффициент конкордации  $W = 0,1336$ , в обоих случаях значимость  $W$  подтверждена по критерию  $\chi^2$  с уровнем значимости  $\alpha = 0,95$ . Катастрофическое снижение коэффициента конкордации свидетельствует о некорректности применения метода средних рангов для редукции множества альтернатив. Объясняется такое снижение коэффициента конкордации тем, что сумма рангов никоим образом не учитывает последовательность мест, занимаемых альтернативами в индивидуальных ранжированиях экспертов.

Применение предложенного **метода корректной редукции множества альтернатив** позволило получить следующие результаты: редуцированное множество из 15 альтернатив – {TK1, TK2, TK3, TK6, TK7, TK8, TK21, TK22, TK23, TK25, TK26, TK27, TK28, TK29, TK30}. Расчет коэффициента конкордации дает статистически подтвержденное значение по критерию  $\chi^2$  с  $\alpha = 0,95$   $W = 0,7875$ . Применение корректного метода редукции множества альтернатив позволило существенно повысить согласованность матрицы рангов и тем самым повысить достоверность экспертизы в целом.

**Выводы.** Исследованы процедуры предварительной обработки экспертной информации, представленной в виде набора индивидуальных ранговых предпочтений. Показано, что на результирующее консенсусное агрегированное ранжирование существенно влияет корректность методов предварительной обработки. Сформулирован

и программно реализован принцип стандартизации рангов. Установлено, что редукция множества альтернатив на основании метода среднего ранга является некорректной и может привести к существенному снижению уровня согласованно-

сти коллективной экспертной оценки. Предложен корректный метод редукции множества альтернатив. Изложение проиллюстрировано конкретным примером коллективной ранговой оценки для построения системы принятия решений.

#### Список литературы:

1. Петровский А. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 400 с.
2. Cook W., Seiford L. Priority ranking and consensus formation. *Management Science*. 1978. Vol. 24. № 16. P. 1721–1732.
3. Cook W., Seiford L. A general framework for distance-based consensus in ordinal ranking models. *European Journal of Operational Research*. 1997. Vol. 96. № 2. P. 392–397.
4. Самохвалов Ю., Науменко Е. Экспертное оценивание. Методический аспект. Киев: ДУИКТ, 2007. 262 с.
5. Орлов А. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. Ч. 2: Экспертные оценки. 486 с.
6. Кондратюк И., Сдвижкова Е. Выбор и обоснование значимых информативных факторов выбросоопасности угля и газа. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 40. С. 77–84.
7. Хэбе Н., Ковшов Е. Модель лицензирования программных решений с открытым кодом. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. С. 69.
8. Ronald D., Cook W., Lawrence M. Priority Ranking and Consensus Formation: The Case of Ties. *Management Science*. 1982. Vol. 28. P. 638–645.
9. Катаев А. Актуальные функциональные задачи маркетинговой товарной политики. Харьков: Издательский центр «Диалог», 2016. 124 с.
10. Bury H., Wagner D. Group Judgement with Ties. *Distance-Based Methods. New Approaches in Automation and Robotics*. Vienna: I-Tech Education and Publishing, 2008. P. 153–173.
11. Писарева О. Методы социально-экономического прогнозирования. М., 2003. 396 с.
12. Давнис В., Тинякова В. Прогнозные модели экспертных предпочтений. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. 248 с.
13. Кобзарь А. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
14. Куваева В., Позняк А., Болтенков В. Применение методов экспертного оценивания при построении систем поддержки принятия решений. Системи та засоби штучного інтелекту: тези доповідей Міжнародної наукової молодіжної школи. Київ. 2017. С. 104–108.

#### ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ АГРЕГОВАНИХ КОНСЕНСУСНИХ РАНГОВИХ ОЦІНОК

*Досліджено методи попередньої обробки експертної інформації в задачах побудови агрегованих консенсусних ранжирувань. Показано некоректність процедур редукції вихідної множини альтернатив, що застосовуються та знижують узгодженість експертизи. Запропоновано метод відсіву незначущих альтернатив, заснований на коефіцієнті конкордації.*

**Ключові слова:** експертне оцінювання, консенсусне агрегування, рангові переваги, матриця рангів, коефіцієнт конкордації.

#### PRE-PROCESSING OF EXPERT INFORMATION IN AGGREGATED CONSENSUS RANKING FORMATION

*The methods for pre-processing of expert information in the problems of aggregated consensus rankings constructing have been studied. The incorrectness of the applied procedures for the initial set of alternatives reduction, which reduces the concordance of expertise, has been demonstrated. A method for eliminating insignificant alternatives based on the concordance coefficient was proposed.*

**Key words:** expert estimation, consensus aggregation, ranking preferences, ranks matrix, coefficient of concordance.

*Кузьма К. Т.*

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕВІРКИ ВІДПОВІДІ В СИСТЕМАХ ТЕСТУВАННЯ, ПОДАНОЇ В ТЕКСТОВІЙ ФОРМІ

*У роботі досліджено методи перевірки відповіді, поданої в довільній текстовій формі, проаналізовано їхні переваги та недоліки, що дозволило визначити найбільш ефективні й перспективні з погляду практичного застосування в системах тестування. Під час розгляду алгоритмів «точного» порівняння відповіді із правильним зразком (патерном) здійснено їх аналіз за базовими характеристиками. Відзначені обмеження застосування методів «точного» порівняння рядків у задачах перевірки відповідей, поданих у довільній текстовій формі. Визначено, що подальшого дослідження потребують саме алгоритми «приблизного» порівняння із множинними патернами шляхом побудови недетермінованого кінцевого автомата, який би містив усі патерни. Завдяки використанню регулярних виразів здійснюється порівняння з альтернативними, кратними підрядками, що дозволяє вирішувати задачу перевірки відповіді, поданої в текстовій формі, як задачу «нечіткого» пошуку.*

**Ключові слова:** відповідь, подана в текстовій формі, методи порівняння рядків, системи тестування, лінгвістичний аналіз тексту.

**Постановка проблеми.** Найвні системи тестового контролю за своєю функціональністю суттєво обмежують можливості неформалізованої побудови тестових завдань. Сучасні програмні засоби, які використовуються для тестування, дозволяють будувати питання лише певних типів. Переважно це питання типу «одне питання – декілька варіантів відповідей, серед яких один правильний», «одне питання – декілька варіантів відповідей, серед яких декілька правильних», «зіставлення варіантів відповідей».

Недостатньо формалізоване подання відповіді на питання в довільній текстовій формі.

Тому для автоматизації перевірки відповіді, поданої в текстовому форматі природною мовою, необхідно розробити ефективну методику порівняння такої відповіді зі зразком (зразками) правильної відповіді.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У зв'язку з постійним зростанням потреб у застосуванні механізмів природної мови в автоматизованих інформаційних системах і людино-машинних системах особливого значення набули питання моделювання природної мови та мовлення. Це привело до розроблення різноманітних лінгвістичних моделей, що могли б розв'язати практичні завдання лінгвістики, а саме: інформаційний пошук, машинний переклад, розуміння природної мови тощо.

Досліджували, розробляли моделі та методи лінгвістичного аналізу тексту такі науковці: О. Комарницька, О. Лесько, О. Палагін, І. Катеринчук та інші [1–4].

**Постановка завдання.** Метою роботи є аналіз методів перевірки відповідей, поданих у довільній текстовій формі, для виявлення їхніх переваг і недоліків під час використання в системах тестування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вивчення й опис природних мов у контексті автоматизованих інформаційних систем потребує застосування математичних методів, серед яких: комбінаторні методи, методи математичної статистики, булевої алгебри, теорія графів, теорія нечітких множин; теорія ймовірності, методи штучного інтелекту (зокрема нейромережі).

Під час розгляду алгоритмів порівняння рядків тексту здійснено їх класифікацію на два основних види: «точного» порівняння зі зразком (патерном), «приблизного» порівняння з «патерном». Водночас шаблон (патерн) пошуку може бути одиночним або множинним.

Так, у роботі О. Комарницькою [1] розроблено метод нечіткого семантичного порівняння, який базується на алгоритмі «приблизного порівняння» із множинними патернами. Передбачається автоматизоване визначення лексичних одиниць тексту

з подальшим здійсненням морфологічного, синтаксичного, семантичного та прагматичного аналізу. Метод, розроблений у зазначеній роботі [1] для розпізнавання та виправлення слів, написаних із помилками (вставка, заміна, пропуск, транспозиція), базується на вдосконаленні метрики Левенштейна. Такий підхід передбачає, що, чим більшою є відстань між рядками, тим більшою є відмінність.

Оскільки в комп'ютері текстова інформація кодується числами, кожний текстовий рядок являє собою вектор у  $N$ -вимірному просторі, де  $N$  – кількість символів в рядку [4].

Функція  $d(x, y)$  для обчислення відстані між двома векторами  $x$  та  $y$  повинна мати такі властивості:

- невід'ємність:  $d(x, y) \geq 0 \forall x, y$ ;
- властивість нуля:  $d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$ ;
- симетричність:  $d(x, y) = d(y, x) \forall x, y$ ;
- нерівність трикутника:  $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z) \forall x, y, z$ .

Відповідно до наведених властивостей є можливість побудувати багато різних метрик, однією з яких є евклідова метрика:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2}.$$

Проте для завдання оброблення текстової інформації така метрика не досить зручна. Кількість символів, які опитуваний використовує у відповіді на тестове питання, не є константою. Тому виникає потреба порівнювати рядки різної довжини, а отже, розмірності просторів, в яких вони перебувають.

Нехай  $S_1$  та  $S_2$  – два рядки, що мають довжину  $M$  та  $N$  відповідно над деяким алфавітом, тоді редакційну відстань (відстань Левенштейна)  $d(S_1, S_2)$  можна розрахувати за такою рекурентною формулою:

$$d(S_1, S_2) = d(M, N), \text{ де}$$

$$D(i, j) = \begin{cases} 0; i = 0; j = 0 \\ i, j = 0, i > 0 \\ j, i = 0, j > 0 \\ \min \begin{pmatrix} D(i, j-1) + 1, \\ D(i-1, j) + 1, \\ D(i-1, j-1) + m(S_1[i], S_2[j]) \end{pmatrix}; j > 0; i > 0 \end{cases}$$

де  $m(a, b)$  дорівнює нулю, якщо  $a = b$ , інакше одиниці.  $\min(a, b, c)$  повертає найменший з аргументів.

Отже, зразок і відповідь розбиваються на окремі слова. Після чого проводиться пошук збігів за словами між зразком і відповіддю, для чого

застосовується алгоритм Левенштейна. Перевагою методу є й те, що він дозволяє встановлювати обмеження на кількість можливих у відповіді помилок, що сприяє адекватному оцінюванню знань того, хто навчається.

Для формування загальної оцінки відповіді на тестові завдання використовується комплексний показник, у якому враховано наявність у відповіді слів, присутніх у зразку (зокрема й за умови нечіткості), відповідність структур зразка і відповіді (порядку слів).

У концептуальній моделі порівняння текстової інформації за змістом на етапах семантичного та прагматичного аналізу О. Комарницькою запропоновано також застосовувати моделі штучного інтелекту, зокрема нейромережі. Перший шар нейромережі містить дві групи нейронів. До цього шару вноситься вхідна інформація – відповідь і зразок. Основна обробка інформації реалізується в наступних шарах нейронів, в яких здійснюється семантичний аналіз відповіді. Для отримання результату перевірки використовується останній шар, який відображує ступінь ідентичності двох текстів за змістом. Перевагами використання нейромережі є універсальність. Незмінну за структурою нейромережу можна пристосувати для порівняння текстів у різних предметних сферах.

Базовими алгоритми «точного» порівняння рядків є:

1. Зіставлення рядків найпростішим порівняльним методом (алгоритм прямого пошуку).
2. Алгоритм Кнута-Морріса-Пратта.
3. Алгоритм Бойера-Мура.
4. Алгоритм Карпа-Рабіна.

Порівняння рядків полягає в тому, щоб знайти в тексті всі входження рядка-шаблону. Шаблон позначається  $x = x[0..m-1]$ ; його довжина дорівнює  $m$ . Текст позначається за допомогою  $y = y[0..n-1]$ ; його довжина дорівнює  $n$ . Обидва рядки побудовані за кінцевим набором символів, який називається алфавітом, з розміром, що дорівнює  $\sigma$ . Фундаментальні методи й алгоритми порівняння рядків містять роботи [5–7].

Характеристики алгоритмів «точного» порівняння рядків наведено в таблиці 1.

Методи «точного» порівняння рядків мають певні обмеження в застосуванні для рішення задачі перевірки відповіді, поданої в довільній текстовій формі, а саме:

1. Під час підготовки відповіді опитуваний може зробити помилку в словах, неправильно побудувати речення, вживати нестандартні скорочення й аббревіатуру тощо.

2. Передбачають порівняння з одним патерном, тоді як необхідне порівняння із множиною патернів.

Для рішення задачі порівняння текстового рядка з набором патернів (множинний патерн) можна побудувати кінцевий автомат, який би включав всі патерни.

На основі недетермінованого кінцевого автомата NDFA (NDFA – non-deterministic finite automata) вирішується задача порівняння з регулярними виразами. Патерни, які є регулярними виразами, містять метасимволи | або \*, які дозволяють проводити порівняння з альтернативними та кратними підрядками відповідно. Отже, патерн стає «приблизним». Застосування регулярних виразів під час перевірки відповіді, поданої природною мовою, дозволить реалізувати алгоритм нечіткого пошуку для урахування некоректно поданих слів у відповіді, що підвищить ефективність оцінювання.

«Недетермінованість» проявляється в тому, що з деяких станів (вершин) можливі кілька переходів (вихідних дуг), помічених символом нового рядка  $\epsilon$ , і водночас визначення вихідної дуги неоднозначно. NDFA має єдиний початковий стан або джерело і тільки одну кінцеву вершину, яка відповідає поглинаючому стану або стоку.

Автомат NDFA( $p$ ), який відповідає регулярному виразу ( $p$ ), представлено на рисунку 1.



Рис. 1. Автомат NDFA( $p$ )

$i$  та  $j$  – мітки початкового і поглинаючого станів відповідно, а пунктирна лінія позначає можливі шляхи від  $i$  до  $j$ .

Наведений нижче алгоритм NDFA використовує функцію  $trans$  для обчислення в даному рядку  $x$  усіх позицій  $i$ , для яких має місце збіг підрядків  $x[i'.i]$  із непорожнім регулярним виразом  $p$ .

Алгоритм NDFA (знаходження всіх підрядків рядка  $x$ , що збігаються із заданим непорожнім регулярним виразом  $p$ ; побудова NDFA( $p$ ) із поглинаючим станом  $w$  :

```
S ← trans(∅, ε)
for i ← 1 to n do
  S ← trans(S, x [i])
  if w ∈ S then
    output i
  S ← trans(S, ε)
  if w ∈ S then
    output i.
```

Функція  $trans$  (від *transition* – перехід) для заданої множини станів  $S$  та заданої літери  $\lambda \in A$  (поточна вхідна літера) обчислює нову множину станів, які досягаються шляхом проходження дугами, позначеними літерою  $\lambda$  і виходять із вершин множини  $S$ .

Стан  $j$  автомата NDFA( $p$ ) називається  $\lambda$ -досяжним зі стану  $i$ , якщо виконуються такі умови:

- стан (вершина)  $i$  має вихідну дугу, яка позначається літерою  $\lambda$ ;
- у NDFA( $p$ ) є орієнтований шлях від вершини  $i$  до вершини  $j$ , дуги якого позначені як  $\lambda\epsilon^k$  для деякого цілого  $k \geq 0$ ;
- стан  $j$  не має вихідних дуг, які позначені як  $\epsilon$ .

Дані умови цілком визначають функцію  $trans(S, \lambda)$ . Водночас враховуються два особливі випадки:

- коли  $S = \emptyset$  (порожня множина), функція  $trans(S, \lambda)$  інтерпретується як  $trans(\{0\}, \lambda)$ , де  $0$  – мітка початкового стану автомата NDFA( $p$ );

Таблиця 1

Характеристики алгоритмів «точного» порівняння рядків

Алгоритм	Час на фазу попередньої обробки	Часова межа пошуку в середньому	Часова межа в найгіршому разі (пошук неперіодичного шаблону)	Витрати пам'яті	Базові переваги або недоліки
Прямого пошуку	–	$O(m \cdot n)$	$O(m \cdot (n-m+1))$	–	Мала ефективність
Кнута-Морріса-Пратта	$O(m)$	$O(m+n)$	$O(m \cdot (n-m+1))$	$\Theta(m)$	Універсальний алгоритм, якщо невідома довжина зразка
Бойера-Мура	$O(m+\sigma)$	$O(m \cdot n)$	$O((m \cdot (n-m+1)) \cdot m+\sigma)$	$\Theta(m+\sigma)$	Найбільш ефективний, швидкодія підвищується за збільшення зразка або алфавіту
Карпа-Рабіна	$O(m)$	$O(m+n)$	$O(m \cdot (n-m+1))$	$\Theta(m)$	Вимагає додаткової пам'яті, ефективний у разі $m \geq 200$

– позначення  $\text{trans}(S, \varepsilon)$  інтерпретується як безліч усіх станів, які досягаються із множини  $S$ , якщо слідувати дугами, які виходять із цієї множини, позначеними символом нового рядка  $\varepsilon$ .

Для непорожнього регулярного виразу  $p$ , що містить  $m$  букв, та для заданого рядка  $x = x[1..n]$  алгоритм, заснований на використанні NDFA, обчислює всі підрядки рядка  $x$ , що збігаються з патерном  $p$ , за час порядку  $O(m \cdot n)$  із використанням пам'яті об'ємом  $\Theta(m)$  [5, с. 346].

Для моделі NDFA, яка використовує бінарні вектори, доцільно використовувати два алгоритми для приблизного порівняння з патерном, один з яких заснований на алгоритмі ВМ (алгоритм Бу-Менбере), а другий запропонований Бейза-Ятсом і Наварро (BYN-Baeza-Yates, Navarro).

Нова модифікація алгоритму ВМ використовується до функцій відстані будь-яких типів, а алгоритм BYN – тільки для просторових перетворень, Левенштейна і Хеммінга.

Алгоритми порівняння з регулярними виразами й із множинними патернами неможливо описати без використання поняття кінцевого автомата. Різні типи кінцевих автоматів вирішують свої завдання.

**Висновки.** Отже, враховуючи обмеження «точних» методів у задачах перевірки відповідей, представлених у довільній текстовій формі, подальшого дослідження потребують методи «нечіткого» порівняння, які базуються на використанні недетермінованого кінцевого автомата.

#### Список літератури:

1. Комарницька О., Ваколюк Т. Алгоритм нечіткого семантичного порівняння текстової інформації. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. К., 2013. № 39. С. 163–168.
2. Лесько О., Рогушина Ю. Использование онтологий для анализа семантики естественно-языковых текстов. Проблемы програмування. 2009. № 3. С. 59–65.
3. Палагин А., Петренко Н. К проектированию онтологоуправляемой информационной системы с обработкой естественно-языковых объектов. Математичні машини і системи. 2008. № 2. С. 14–23.
4. Катеринчук І., Рачок Р., Кравчук В., Кулик В. Інтелектуальна система автоматизованого контролю знань студентів вищих навчальних закладів. Інформаційні технології в освіті: збірник наукових праць. 2009. Вип. 4. Херсон: Вид-во ХДУ. С. 139–147.
5. Смит Б. Методы и алгоритмы вычислений на строках; пер. с англ. Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. 496 с.
6. Navarro G. A guided tour to approximate string matching. ACM Computing Surveys. 2001. 33(1): 31–88. P. 31–88. URL: <https://www.dcc.uchile.cl/~gnavarro/ps/acmcs01.1.pdf> (дата звернення: 30.01.2018).
7. Stephen Graham A. String Searching Algorithms. Lecture Notes Series On Computing. Vol. 3. London: World Scientific. 1994. 256 p.

#### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ ОТВЕТА В СИСТЕМАХ ТЕСТИРОВАНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕННОГО В ТЕКСТОВОЙ ФОРМЕ

*В работе исследованы методы проверки ответа, представленного в произвольной текстовой форме, проанализированы их преимущества и недостатки, что позволило определить наиболее эффективные и перспективные с точки зрения практического применения в системах тестирования. При рассмотрении алгоритмов «точного» сравнения ответа с правильным образцом (паттерном) осуществлен их анализ по базовым характеристикам. Отмечены ограничения применения методов «точного» сравнения строк в задачах проверки ответов, представленных в произвольной текстовой форме. Определено, что дальнейшего исследования требуют именно алгоритмы «приблизительного» сравнение с множественными паттернами путем построения недетерминированного конечного автомата, который бы включал все паттерны. За счет использования регулярных выражений осуществляется сравнение с альтернативными, кратными подстроками, что позволяет решать задачу проверки ответа, представленного в текстовой форме, как задачу «нечеткого» поиска.*

**Ключевые слова:** ответ, представленный в текстовой форме, методы сравнения строк, системы тестирования, лингвистический анализ текста.

## ANALYSIS OF THE METHODS OF VERIFICATION THE ANSWER IN TESTING SYSTEMS, SUBMITTED IN A TEXT FORM

*The methods of checking the answer submitted in an text form, their advantages and disadvantages, which allowed to determine the most effective and promising for practical use in testing systems have been considered. While investigating algorithms of “strict” comparison the answer with a correct pattern, their basic characteristics have been analyzed. Restrictions in use the “strict” comparison strings methods in tasks of verification the answers submitted in an text form have been noted. It was determined that further researching require the algorithms of “approximate” comparison with multiple patterns by constructing a nondeterministic finite automata that would include all the patterns. By using regular expressions, comparison with alternative, multiple substrings is performed, which allows to solve the task of verifying the answer submitted in text form as a task of “fuzzy” search.*

**Key words:** *answer submitted in text form, methods of string comparison, testing system, linguistic analysis of text.*

УДК 681.51:622.7

**Купин А.И.**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

**Музыка И.О.**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

**Сенько А.А.**

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

**Коваленко К.А.**

ОАО «Южный горно-обогатительный комбинат»

**Мисько Б.С.**

ГП «Криворожский институт автоматики»

## ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РУДОПОДГОТОВКОЙ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

*В данной статье показана актуальность автоматизации технологических процессов обогащения и рудоподготовки. Системно проанализирован технологический процесс транспортировки руды в условиях горно-обогатительного комбината. Поставлена задача построения прогнозирующей автоматизированной системы управления рудоподготовкой для стабилизации качественных показателей горно-обогатительного комбината. Представлена обобщенная структурная схема прогнозирующей системы. Разработан алгоритм функционирования такой автоматизированной системы управления.*

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, прогнозирование, технология обогащения, рудоподготовка.

**Постановка проблемы.** В условиях мировой рыночной экономики повышение конкурентоспособности отечественного горно-металлургического комплекса можно достичь за счет стабилизации качества выпускаемой продукции. В качестве составной части процесса улучшения качества можно рассматривать процесс стабилизации качественных показателей рудного сырья на горнодобывающих предприятиях в процессе рудоподготовки [1].

Выпуск продукции строго заданного качества при условии высоких флуктуаций качественных характеристик входного сырья приводит к необходимости оперативного принятия нетривиальных решений инженерно-техническим персоналом, задержка с которыми, в свою очередь, негативно влияет на эффективность производства и, как

следствие, рентабельность продукции. В случае с горнорудными предприятиями, чем больше амплитуда отклонения качества руды от предусмотренного при настройке процесса и чем продолжительнее это отклонение (без коррекции процесса), тем большие потери при извлечении. Они зависят от особенностей инженерно-конструктивных решений фабрик, частотного спектра колебаний и динамических характеристик процесса и систем управления и в сумме могут быть эквивалентны потерям 15–20% производительности [2]. Невозможность прямого оперативного контроля физико-химических показателей сырья при первичной подготовке руды для обогащения (стадии транспортировки и дробления), а также высокая вероятность резких амплитудных колебаний качественных характеристик руды при шихтовании



приводят к поиску косвенных решений оперативного контроля и стабилизации амплитудных колебаний качественных характеристик. Таким косвенным решением может быть использование экспертной автоматизированной системы прогнозирования физико-химических показателей сырья.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросом прогнозирования качественных характеристик рудного сырья в разное время занимались: А.А. Азарян, Ю.П. Астафьев, Н.Д. Бевз, В.Н. Беспалько, В.Ф. Бызов, А.С. Давидкович, Л.П. Шупов и другие [3–5]. Основными недостатками систем прогнозирования или контроля качества в прошлом были: низкая вычислительная мощность компьютеров, высокие затраты по созданию данных систем, связанные с высокой стоимостью электронно-вычислительных машин, малые возможности хранения больших объемов статистических данных и их оперативного использования по сравнению с современными вычислительными системами. Сегодня развитие информационной техники позволяет решать проблемы прогнозирования на качественно новом уровне.

Автоматизированная система прогнозирования состава рудного сырья призвана обеспечить достоверный прогноз свойств руды, загружаемой в мельницы первой стадии измельчения после полного процесса рудоподготовки: добычи, транспортировки, дробления.

Анализ текущего состояния автоматизации процесса прогнозирования показателей качества на отечественных горно-обогатительных комбинатах (далее – ГОК) показал, что наряду с достаточно хорошо теоретически описанными системами прогнозирования и большим количеством практических наработок, полноценные промышленные системы прогнозирования качества практически отсутствуют. А существующие системы, как правило, устарели [6].

**Постановка задания.** С целью построения современной прогнозирующей автоматизированной системы управления (далее – АСУ) рассмотрим технологический процесс рудоподготовки на примере Открытого акционерного общества «Южный ГОК».

**Изложение основного материала исследования.** Технологический процесс вышеуказанного предприятия включает в себя следующие этапы: добычу руды открытым способом, транспортировку руды и четыре стадии дробления руды по двум параллельным веткам с промежуточным гро-

хочением перед мелким дроблением. Руда (кварциты неокисленные: магнетиты, гематит-магнетиты, силикат-карбонат-магнетиты и их частично окисленные разновидности), поставляемая на рудообогатительную фабрику, должна соответствовать критериям качества по железу общему, в процентном средневзвешенном выражении не менее 35%, и железу магнитному, в процентном средневзвешенном выражении не менее 27,3%.

Добыча руды для промышленного обогащения ведется с горизонтов, соответствующих критериям качества сырья от 30% по железу общему и от 23% по железу магнитному, которые получены лабораторным методом геолого-разведывательной службой. Также в ходе лабораторного исследования указываются твердость руды по шкале профессора М.М. Протодюконова [3] и процент окисленного железа. Крупность при подаче руды на дробильную фабрику не должна быть более 800 мм.

Транспортировка руды осуществляется тяговыми агрегатами, электровозами или автотранспортным парком, партиями от 40 до 945 тонн. Время движения транспорта, а также объем перевозимой руды от места погрузки, экскаватора или станции, до места выгрузки, одной из трех конусных дробильных установок крупного дробления, регламентируется нормативными документами управления железнодорожным транспортом и может быть точно установлено с помощью диспетчерской системы учета исполненного движения.

Схема дробления руды включает 4 стадии дробления. Первая стадия первой ветки дробления осуществляется конусной дробилкой производительностью 3 250 тонн/час (далее – т/ч). Вторая стадия – двумя конусными дробилками производительностью по 1 650 т/ч. Третья и четвертая – восемью конусными дробилками производительностью по 365 т/ч и 265 т/ч соответственно. Перед четвертой стадией дробления производится предварительное грохочение инерционными грохотами с отбором подрешеточного продукта на сборочный конвейер. Первая стадия второй ветки дробления осуществляется двумя конусными дробилками 1 600 и 2 250 т/ч. Вторая стадия – двумя конусными дробилками производительностью по 1 650 т/ч. Третья и четвертая стадии дробления – пятью конусными дробилками производительностью 365 и 245 т/ч соответственно, а также по одной дробилке, на каждую стадию, производительностью 1 190 т/ч. После второй стадии организованы промежуточные накопительные банки руды 12 000 т и 14 000 т соответственно

веткам дроблення. Между всеми стадиями дробления руда транспортируется конвейерами или прямым рудоспуском. При построении алгоритма автоматизированной системы прогнозирования необходимо учитывать и реалии отечественного горнодобывающего комплекса. А именно изношенность определенного оборудования и, как следствие, уменьшение коэффициента эффективности использования оборудования, периодическое использование оборудования не на полную расчетную мощность и прочее.

Полный технологический процесс добычи, транспортировки и дробления схематически изображен на рис 1.

Исходя из описанного технологического процесса, общую структурную схему автоматизированной системы прогнозирования можно разделить на несколько блоков (см. рис. 2).

Первый – исходная информация о качественных показателях руды, разрабатываемых горизонтов, исходя из лабораторных анализов геолого-разведывательной службы. Второй – информация по транспортируемым объемам сырья с заданными характеристиками и времени транспортировки. Третий – аналитическая обработка информации о простоях основного оборудования и пути прохождения сырья по узлам и агрегатам дробильно-

транспортного комплекса. Четвертый – блок определения процента руды, отсеиваемого на грохотах. Пятый – центральный модуль, модуль прогнозирования.



Рис. 2. Общая структурная схема прогнозирующей АСУ

Для возможности построения моделей первого блока, в общем случае, необходимо установить: зависимости распределения и количества экскаваторов ( $k$ ), работающих на добыче пригодного для обогащения сырья; содержание показателей качественных характеристик руды ( $\alpha_{ij}, \%$ ) в добываемых объемах руды  $V_i (m^3)$ ; плановые ( $Q_{pj} \Delta t$ ), т/ч и фактические  $Q_{fj} (\Delta t)$ , т/ч показатели производительности карьера по  $j$ -му показателю качества. Построение блока сводится к

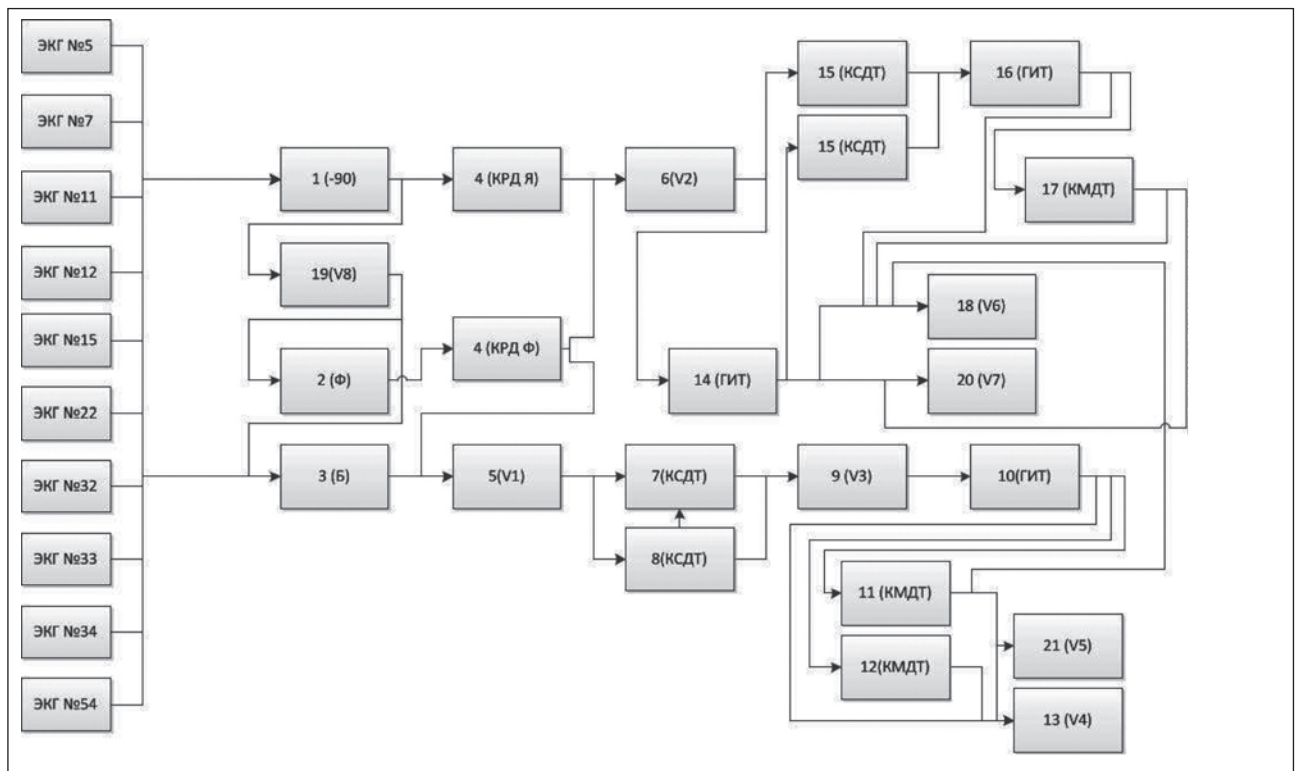


Рис. 1. Технологический процесс транспортировки руды

организации автоматизированных рабочих мест (далее – АРМ) инженеров геолого-разведывательной службы для возможности ввода качественных показателей руды по разрабатываемым горизонтам, АРМов диспетчеров карьера и диспетчеров транспортной службы. Плановые и фактические показатели производительности необходимы для

промежуточного расчета качественных показателей и возможности их предварительной корреляции методом усреднения руд, а именно выделения (уменьшения или увеличения) партии руды, извлекаемой  $k$ -м экскаватором за промежуток времени ( $\Delta t$ , ч). Также на этом этапе необходимо установить допустимое значение среднеквадрата

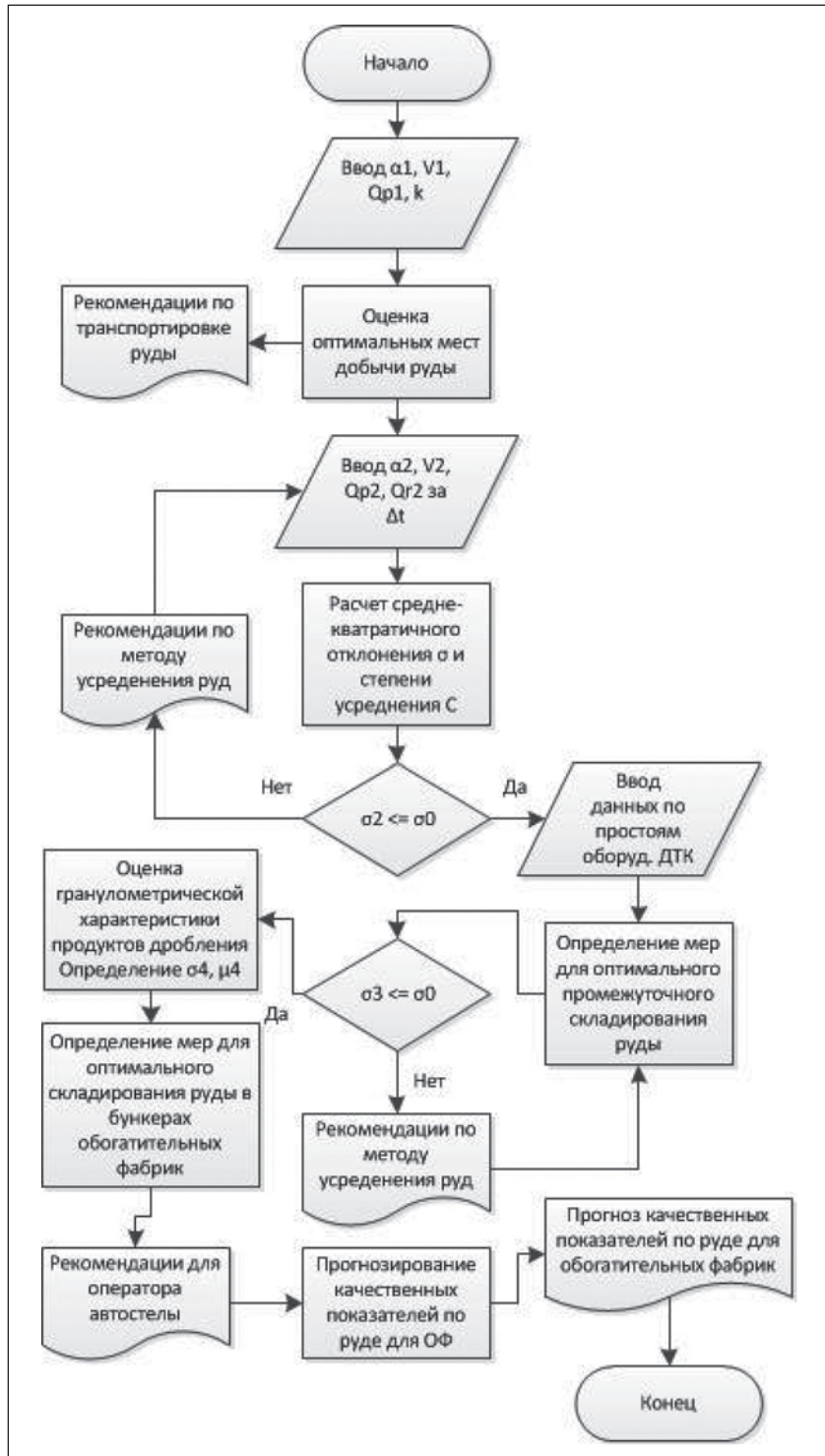


Рис. 3. Функциональная блок-схема прогнозирующей АСУ

тичного отклонения содержания компонента в потоке руды  $\sigma_j$ , %), при этом необходимо учесть статистическую надежность в определении данного показателя [3].

Построение второго блока требует наличия системы контроля перемещения и загрузки подвижного состава и сводится к развертыванию программно-аппаратных средств сбора соответствующей информации. Такая система контроля может быть построена на основе систем GPS-навигации, в случае использования горного автотранспорта, или датчиков движения железнодорожного транспорта. Также необходима информация о содержании показателей качественных характеристик руды  $\alpha_{2j}$ (,) в транспортируемых объемах руды  $V_2$  (,3) за промежуток времени ( $\Delta t$ ,  $t$ , ч); плановые  $Q_{pl}(\Delta t)$ , т/ч) и фактические  $Q_f(\Delta t)$ , т/ч) показатели производительности структурного подразделения, ответственного за транспортировку рудного сырья к местам дробления; степень усреднения ( $C$ , %) качественных показателей в точках перегрузки и количество данных точек перегрузки ( $O_n$ ).

Полная блок-схема реализации прогнозирующей АСУ представлена на рисунке 3.

Построение третьего блока сопряжено с построением системы контроля и учета рабочего времени оборудования (системы автоматизированного учета простоев оборудования) и установлением зависимости распределения руды по потокам. Как и в первом блоке, необходимо определить: степень усреднения ( $C_n$ , %) качественных показателей в накопительных банках; количество ( $O_n$ ) объем ( $V_n$ ,  $m^3$ ) накопительных банок; время перемещения ( $\Delta$ ,  $t$ ) детерминированных объемов руды ( $V$ ,  $m^3$ ) и содержание качественных характеристик в них ( $\alpha_{3j}$ , %); плановые ( $Q_{pl}(\Delta t)$ , т/ч) и фактические  $Q_f(\Delta t)$ , т/ч) показатели производительности установок дробления и транспортировки (конвейеров).

Четвертый блок основывается на математическом аппарате теории вероятности. В данном блоке необходимо оценить гранулометрическую характеристику продуктов дробления и грохочения (процентные величины надрешетного и подрешетного продукта грохочения). Для возможности оценки необходимо определить параметры распределения: математическое ожидание ( $\mu_{4j}$ ) среднее квадратичное отклонение ( $\sigma_{4j}$ ) соответствующих величин.

Центральный, пятый блок представляет собой консолидирующий программный модуль. Данный блок непосредственно является модулем прогнозирования. В качестве альтернатив методов прогнозирования рассматривались: нейрокибернетические, регрессионные, сплайн, синергетические подходы. Например, в [7] показаны несколько примеров успешной реализации предложенного подхода в условиях Южного ГОКа и комбината ПАТ «Арселор Миттал Кривой Рог» на основе нейроуправления и Fuzzy Logic.

**Выводы.** Предложенная обобщенная структура прогнозирующей АСУ позволит решить проблему прогнозирования качественных показателей сырья, учитывая современные тенденции развития информационных технологий, что позволит стабилизировать качество выпускаемой продукции и приведет к повышению эффективности производства. Но данная система требует комплексного подхода и автоматизации всех этапов рудоподготовки, включая системы первичного ввода и хранения информации, системы контроля движения (навигации), датчиков работы (простоя) отдельных узлов оборудования и т. д. Более детальная разработка каждого из рассмотренных блоков прогнозирующей АСУ с учетом специфики сырьевой базы и технологии других ГОКов Кривбасса является целью дальнейших исследований и будет рассмотрена в последующих работах.

#### Список литературы:

1. Азарян А.А., Вилкул Ю.Г., Колосов В.А., Караманиц Ф.И. Динамика качества и объемов добычи железорудного сырья в Украине 2003–2013 гг. Качество минерального сырья: сборник научных трудов. Кривой Рог, 2014. С. 8–19.
2. Бызов В.Ф. Усреднительные системы на горно-обогатительных предприятиях. Москва, 1988. 213 с.
3. Справочник по обогащению руд / под ред. О.С. Богданова. Москва, 1983. 385 с.
4. Антонов В.В. Прогнозирование показателей однородности качества руды с использованием имитационного моделирования. Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 3. С. 14–18.
5. Марюта А.Н., Давидкович А.С., Гуленко Т.И., Кондратенец В.А. Автоматизация процессов обогащения руд. Киев, 1972. 140 с.
6. Купін А.І., Музика І.О. Комп'ютерна підтримка прийняття рішень для автоматизованого керування буровиховими роботами з мінімізацією енерговитрат. Кривий Ріг, 2013. 200 с.
7. Купін А.І., Сенько А.О., Мисько Б.С. Ідентифікація та автоматизоване керування в умовах процесів збагачувальної технології на основі методів обчислювального інтелекту. Кривий Ріг, 2018. 298 с.

**УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРА ПРОГНОЗУЮЧОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ  
КЕРУВАННЯ РУДОПІДГОТОВКОЮ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ**

*У статті показана актуальність автоматизації технологічних процесів збагачення та рудопідготовки. Системно проаналізовано технологічний процес транспортування руди в умовах гірничозбагачувального комбінату. Поставлено завдання побудови прогнозуючої автоматизованої системи керування рудопідготовкою для стабілізації якісних показників гірничозбагачувального комбінату. Представлена узагальнена структурна схема прогнозуючої системи. Розроблений алгоритм функціонування такої автоматизованої системи керування.*

**Ключові слова:** автоматизована система керування, прогнозування, технологія збагачення, рудопідготовка.

**THE GENERALIZED STRUCTURE OF THE PREDICTING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM  
ORE BENEFICATION FOR STABILIZATION OF MINING COMPLEX QUALITY INDICATORS**

*In this paper the urgency of automation of processes of concentration and ore beneficiation is shown. It is system the process of transportation of ore in conditions is analysed is mining a complex. The statement of problem of construction of the predicting automated control system (ACS) by ore beneficiation for stabilisation of quality indicators of a mining complex is carried out. The generalised block scheme of predicting system is presented. The algorithm of functioning of such automatic control system is developed.*

**Key words:** automated control system, forecasting, concentrating production engineering, ore beneficiation.

**Лобов В.Й.**

Криворізький національний університет

**Лобова К.В.**

Криворізький національний університет

## ЗАХИСТ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА, ЩО КЕРУЄТЬСЯ ТИРИСТОРНОЮ СТАНЦІЄЮ

*У статті вперше запропоновано використати структурну схему універсальної панелі для захисту асинхронних двигунів потужністю до 400 кВт. Панель дозволяє перекрити діапазон низки тиристорних станцій управління, призначених для керування асинхронними двигунами різної потужності без зміни схемотехнічних рішень. Для реалізації панелі використано прості та дешеві засоби автоматики, що забезпечують безперервну роботу електричного привода і робочого механізму.*

**Ключові слова:** електродвигун, тиристорна станція управління, панель захисту, структурна схема, характеристики.

**Постановка проблеми.** Асинхронний двигун (далі – АД) є найпоширенішим в електроприводах. Тенденція зростання впровадження асинхронних електроприводів із тиристорними станціями управління (далі – ТСУ), наприклад, ТСУ-2, ТСУ-4, ТСУ-Ф тощо, об'єктивно зберігається, оскільки вони є масовими електроприводами [1–3]. Адже в діапазоні потужностей до 400 кВт їх виробляється в десятки разів більше, ніж двигунів постійного струму.

У кожного АД є робочі обмеження, перевищення яких у кінцевому підсумку призводить до виходу його з ладу і поломки електропривода, наслідком чого є відключення та простої технологічного обладнання. Водночас трапляється відмова електричної частини як в АД, так і в ТСУ, наприклад, перевантаження, падіння напруги, перекид і обриви фази, що призводять до коливань споживаного струму, або короткі замикання, за яких струм досягає значної величини, можуть вивести з ладу електричне та механічне обладнання. Відмова механічної частини в АД, приводі та механізмі – заклинювання ротора, одно-разові або тривалі перевантаження – викликає підвищення струму АД і небезпечний нагрів його обмоток. Вищезазначене завдає збитків підприємству, які включають виробничі втрати, втрати сировини, ремонт виробничого обладнання, неякісне виробництво і затримки постачання, а також можуть мати серйозні наслідки для безпеки людей, що перебувають у прямому чи непрямому

контакті з АД. Тому актуальна необхідність запобігання таким відмовам, як мінімум, зниження їхнього впливу, а також уникнення пошкоджень обладнання і порушення електроживлення АД за допомогою спеціальних пристроїв захисту, які відключають обладнання від мережі живлення або реагують на зміни електричних показників (напруга, струм, тощо).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із дієвих методів підвищення надійності роботи АД є забезпечення їх засобами моніторингу та захисту від аварійних режимів. Відомі способи захисту від теплового перевантаження АД засновані на використовуванні інтегральної залежності струму статора у функції часу [4], або захист здійснюють шляхом безперервного вимірювання миттєвих значень фазних струмів і напруг, подальших обчислень потокозчеплень і їхніх похідних, швидкості обертання ротора і температури нагріву обмоток статора і ротора, у разі перевищення допустимих значень температури двигун відключають від живлячої мережі [5]. Є пристрій від обриву фази [6], що містить релейно-контактну схему, або блок захисту і керування [7], або інший пристрій від обриву фази [8].

Як показують результати проведеного аналізу, вибір того чи іншого виду захисту або декількох одночасно здійснюється в кожному конкретному разі з урахуванням ступеня відповідальності електричного привода, його потужності, умов роботи і порядку обслуговування (наявності або

відсутності постійного обслуговуючого персоналу). Одна з найважливіших вимог до пристроїв захисту АД – чітка дія в аварійних і ненормальних режимах роботи АД і водночас неприпустимість помилкових спрацьовувань.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є обґрунтування та розроблення уніфікованої панелі для захисту АД, яка входить до складу різних типовиконань ТСУ та реалізовано за допомогою простих і дешевих засобів автоматики, забезпечуючи безперервну роботу електропривода і робочого механізму.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розроблена універсальна панель захисту (далі – УПЗ), яка призначена для захисту АД від струмів перевантаження, струмів короткого замикання, від роботи АД за зниженої напруги та від двофазного режиму роботи. Структурна схема УПЗ представлена на рис.1. Схема складається з: вузла струмових уставок; вузла захисту від струмів перевантаження, який має перший пороговий елемент, формувач часо-струмової характеристики,

лічильник і довгочасну пам'ять 1; вузла захисту від струмів короткого замикання, до якого входять: другий пороговий елемент, оперативна та довгочасна пам'ять 2; вузла захисту АД від роботи за зниженої напруги та двофазного режиму роботи. Випрямлений сигнал датчиків струму ( $U_{ax}$ ) ТСУ, пропорційний струму АД, надходить на вхід вузла струмових уставок, з виходу якого сигнал подається на входи вузлів захисту від струмів перевантаження і струмів короткого замикання.

Формувач часо-струмової характеристики генерує імпульси, частота проходження яких відповідає зворотній часо-струмовій характеристиці, наближеної до теплової характеристики АД. З виходу формувача часо-струмової характеристики імпульси надходять на вхід лічильника.

За напруги  $U_x$  нижче порога спрацьовування, першого порогового елемента, що відповідає відсутності перевантаження АД, перший пороговий елемент, вихід якого з'єднаний зі входом скидання лічильника, установлює лічильник у вихідний стан. За напруги  $U_{ax}$  вище спрацьо-

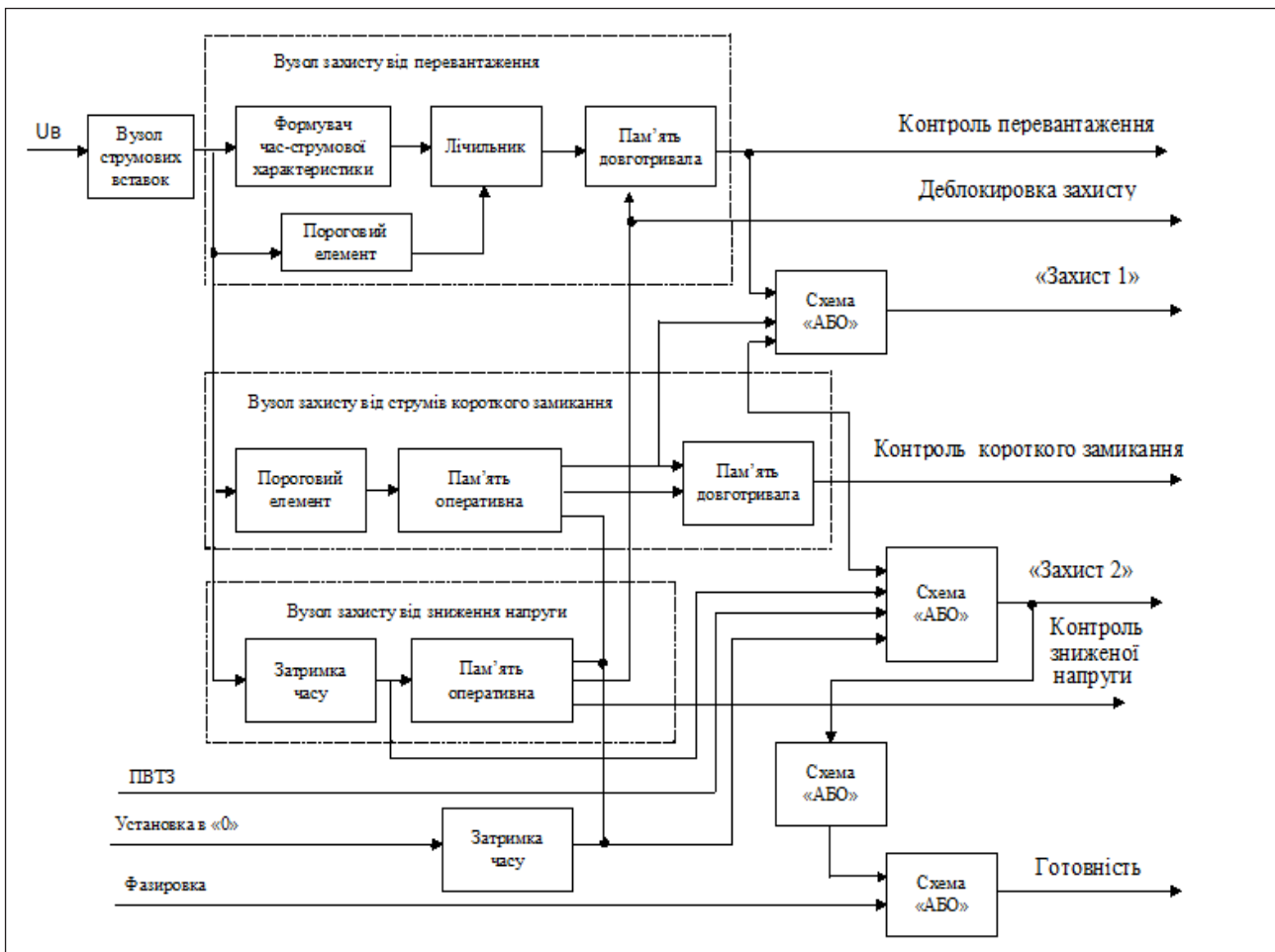


Рис. 1. Структурна схема панелі ПЗ

ування першого порогового елемента сигнал скидання лічильника відсутній і відбувається рахунок імпульсів лічильником, що надходять із формувача часо-струмової характеристики. Сигнал із виходу лічильника, за відповідного заповнення лічильника, надходить на вхід довгочасної пам'яті 1, призначеної для запам'ятовування спрацьовування захисту від перевантаження в разі відключення живлячої напруги, запам'ятовується й надходить на вхід схеми АБО1. У разі збільшення  $U_{вх}$  вище спрацьовування другого порогового елемента захисту від струмів короткого замикання останній спрацьовує й запам'ятовується оперативною пам'яттю 1, а потім сигнал оперативної пам'яті запам'ятовується довгочасною пам'яттю 2 і надходить на вхід схеми АБО1, далі – на вхід схеми АБО2.

У разі зниження напруги живлення ТСУ нижче  $0,75 U_n$ , де  $U_n$  – номінальне значення напруги силового ланцюга, надходить сигнал на вхід вузла захисту АД від роботи на зниженій напрузі. Сигнал із виходу цього вузла з регульованою витримкою часу подається на входи оперативної пам'яті 2, де запам'ятовується, і другої схеми АБО2.

Вузол струмових уставок складається із трьох резисторів і кнопки. Уставка спрацьовування захисту встановлюється плавно змінним резистором від  $0,4 I_n$  до номінального струму АД за закороченого (кнопкою) першого резистора вузла струмових уставок. З вузла струмових установок сигнал подається на вхід формувача часо-струмової характеристики ланцюгом через резистори, діод і на вхід лічильника. Движок змінного резистора вузла струмових уставок встановлюється в таке положення, за якого досягається поріг

спрацьовування першого порогового елемента і лічильник починає підрахунок вхідних імпульсів. Роботу цього порогового елемента відображає світлодіод «настроювання перевантаження». У разі відпускання кнопки вузла струмових уставок АД лічильник припиняє підрахунок вхідних імпульсів.

Водночас із настроюванням захисту від перевантаження змінним резистором вузла струмових уставок автоматично виставляється й уставка спрацьовування захисту від короткого замикання, що дорівнює  $9 I_y$ , яка може бути змінена додатковим резистором від  $3 I_y$  до  $12 I_y$ , де  $I_y$  – уставка захисту від струмів перевантаження. Формувач часо-струмової характеристики являє собою керований генератор, який складається з ланцюгів RC-контурів, порогового елемента, одновібратора і керованого ключа. Одержання круто спадаючої часо-струмової характеристики досягається наявністю двох ланцюгів заряду конденсаторів від вихідних сигналів вузла струмових уставок ланцюгом, що складається з резисторів, діода і дільника напруги, виконаного на резисторах. Вироблені імпульси генератора надходять на вхід одновібратора, де вони формуються, і з його інверсного виходу надходять на вхід лічильника. Ці ж імпульси із прямого виходу одновібратора через керований ключ розряджають конденсатори RC-контура, що раніше заряджалися. Один із резисторів RC-контура призначений для початкової установки періоду проходження імпульсів генератора (час спрацьовування захисту) за перевантаження, що дорівнює  $6t_y$ . Період проходження вихідних імпульсів одновібратора дорівнює  $0,04$  с.

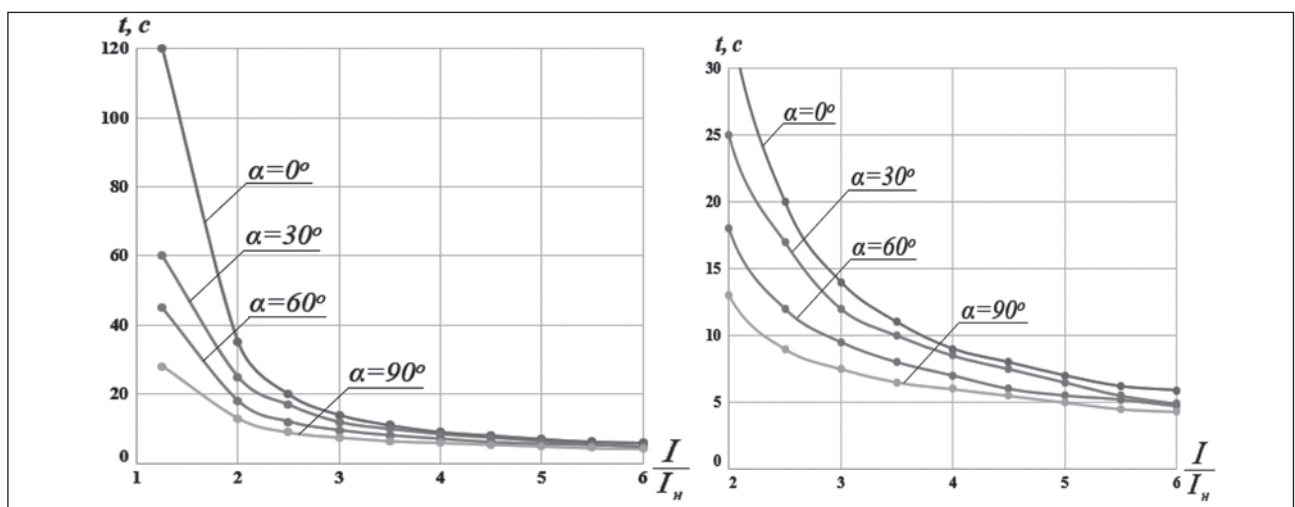


Рис. 3. Часо-струмові характеристики пристрою за різних кутів провідності до 120 с (а) і 30 с (б)



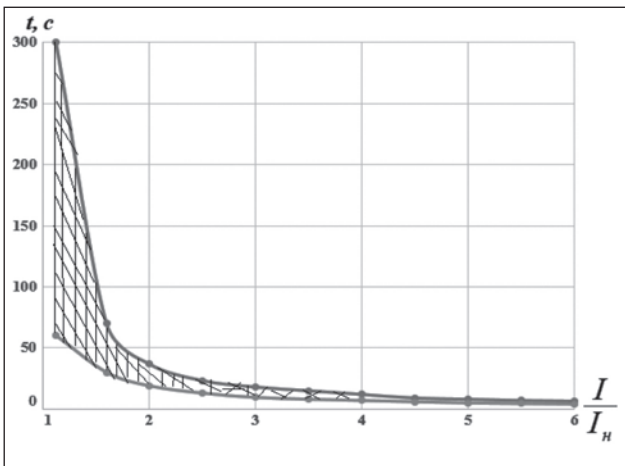


Рис. 2. Зона спрацювання захисту від струмів перевантаження за цілком відкритих тиристорів

За відсутності перевантаження другий пороговий елемент, що має на виході тимчасову затримку, вихід якої з'єднаний із входом установки лічильника в нуль, постійно встановлює лічильник у нульовий стан одиничним рівнем. Тимчасова затримка не дозволяє скидання лічильника, що надходить із виходу першого порогового елемента в разі зняття струмів перевантаження. Час затримки визначається елементами RC-контура і дорівнює 3–4 с. За наявності перевантаження сигнал позитивної полярності з виходу другого порогового елемента заряджає конденсатор, що накопичує. Водночас комутуючий транзистор відкритий, на виході логічного елемента є логічний нуль, який надходить на виводи інших логічних елементів, дозволяючи лічильнику рахувати.

За відсутності перевантаження на виході другого порогового елемента з'являється сигнал негативної полярності та конденсатор, що входить до RC-контура, розряджається, комутуючий транзистор закривається, на виході логічного елемента з'являється логічна одиниця, яка забороняє роботу лічильників.

За виникнення перевантаження величиною  $1,25I_n$  і більше подача сигналу на вхід скидання лічильника припиняється, здійснюється підрахунок імпульсів, що надходять з одновібратора. До спрацювання захисту від перевантаження на логічному елементі – логічний нуль і транзистор, що керує першим реле, закритий, котушка реле знеструмлена.

З появою логічної одиниці у відповідних розрядах лічильника на його виході з'являється логічна одиниця, яка надходить на вхід логічного елемента. На виході логічного елемента з відкритим колекторним виходом з'являється також сиг-

нал логічної одиниці, транзистор відкривається й перше реле перемикається. Його контакти розмикаються й обривають ланцюг живлення гальванічної розв'язки в силовому блоці ТСУ. Другий і третій контакти першого реле замикаються, подаючи логічний нуль на входи логічних елементів, водночас знеструмлюється котушка першого реле, засвічується світлодіод «перевантаження». На виході елемента АБО1 з'являється сигнал «Захист 1» і пристрій вимикається. Перше реле являє собою дистанційний перемикач із магнітною пам'яттю й виконує роль довгочасної пам'яті 2 спрацювання захисту від струмів перевантаження.

Час спрацювання захисту від перевантаження за  $1,25I_n$  зазвичай не менше однієї хвилини. За температури мінус  $40^\circ\text{C}$  (313 К) час спрацювання захисту збільшується до 5 хв. Замикаючи контакти спеціальних перемичок 1–4, 2–4 або 3–4 між собою, можна східчасто змінювати час спрацювання захисту від перевантаження. За перевантаження в  $6I_n$  час спрацювання буде становити відповідно 2,5 с, 5 с, 7,5 с.

Зона спрацювання захисту від струмів перевантаження за цілком відкритих тиристорів ТСУ в діапазоні температури навколишнього середовища від мінус  $40^\circ\text{C}$  (233 К) до плюс  $40^\circ\text{C}$  (313 К) наведена на рис. 2, 3 – часо-струмові характеристики пристрою за різних кутів провідності. У разі виникнення струмів, що перевищують уставку захисту від струмів короткого замикання, сигнал із дільника струмових уставок надходить на вхід другого порогового елемента. З його виходу сигнал надходить на вхід тригера оперативної пам'яті 2 та встановлює на виході елемента АБО1 сигнал «Захист 1», ТСУ вимикається. Водночас засвічується світлодіод «коротке замикання».

Друге реле виконує роль постійної пам'яті 2 спрацювання захисту від струмів короткого замикання. Повторне вмикання ТСУ після спрацювання від струмів короткого замикання можливе лише після натискання кнопки «деблокування захисту».

Водночас тригери елементів пам'яті встановлюються в нульовий стан, перемикаються перше і друге реле, відновлюється ланцюг живлення гальванічної розв'язки та знімається сигнал «Захист 1» – забороняється робота ТСУ.

Вузол захисту від зниження напруги складається з керованого ключа, побудованого на двох логічних елементах, конденсаторі, резисторі та генераторі імпульсів, до складу якого входять: конденсатор, два резистори і транзистор. За нор-

мальної величини живлячої напруги й наявності всіх фаз мережі з панелі живлення ТСУ на вхід керованого ключа (першого логічного елемента) надходить логічний нуль. На його виході буде логічна одиниця. Водночас конденсатор генератора імпульсів заряджений. На вході другого логічного елемента керованого ключа – одиничний рівень, а на виході – нульовий, конденсатор генератора перебуває в розрядженому стані. У разі зниження живлячої напруги нижче встановленого порога або за обриву фаз із панелі живлення ТСУ надходять одиничні імпульси, що розряджають конденсатор генератора за ланцюгом: резистор, вихід першого логічного елемента керованого ключа. Водночас на виході другого логічного елемента з'являється логічна одиниця, конденсатор генератора заряджається від джерела +12В через резистори дільника, що складається із двох резисторів. По закінченні кожного одиничного імпульсу на вході першого логічного елемента конденсатор генератора знову починає заряджатися струмом одиничного рівня, що витікає із входу другого логічного елемента керованого ключа, протягом не менше 20 мс, підтримуючи на вході цього елемента одиничний рівень. За вступу одиничних вхідних імпульсів на вхід першого логічного елемента керованого ключа з періодом проходження меншим 20 мс на виході підтримується безупинно одиничний рівень, конденсатор генератора заряджається до порога спрацьовування транзистора генератора. Останній починає виробляти імпульси, період проходження яких регулюється одним із резисторів генератора.

Імпульси генератора надходять на вхід однобібратора. Імпульси однобібратора тривалістю приблизно 70 мс через елемент АБО2 вимикають ТСУ. Цей же імпульс устанавлює тригер в одиничний стан. Одиничним сигналом із прямого виходу тригера вмикається світлодіод «зниження напруги», водночас світлодіод «готовність до роботи» блимає, що додатково вказує на наявність зниження напруги або обрив фази. Поріг спрацьовування захисту від зниженого напруги виставляється змінним резистором, що розташований у панелі живлення ТСУ, і може змінюватися від  $0,2 U$  до  $0,8 U$

(де  $U$  – номінальна напруга силового ланцюга). Витримка часу спрацьовування захисту регулюється резистором у межах:  $0,15 \text{ с} \leq t \leq 0,4 \text{ с}$ .

Для первісної установки всіх тригерів у нульовий стан після включення живлення ТСУ використовується спеціальний логічний елемент. За нормальних живлячих напруг на другому вході першого логічного елемента з'являється логічний нуль, конденсатор заряджається, водночас на виході спеціального логічного елемента з'являється позитивний імпульс тривалістю приблизно 0,1 с, який через додатковий елемент устанавлює всі тригери пристрою в нульовий стан (формує сигнал «Скидання»). Після закінчення 0,1 с (конденсатор зарядився до порога, утвореного дільником на двох резисторах) сигнал «Скидання» зникає, водночас ТСУ перебуває в стані готовності до роботи. Крім того, у панелі ПЗ є схема, яка виробляє сигнал готовності до роботи. Сигнал готовності до роботи видається за умови, що жоден із захистів не спрацював, фазування силових ланцюгів правильне й пристрій забезпечується необхідними оперативними напругами живлення. Тоді на виході логічного елемента з'являється логічний нуль і спалахує світлодіод «готовність». Сигнал «Захист 1» вимикає пристрій і забороняє повторне його вмикання без натискання кнопки «деблокування захисту». Сигнал «Захист 2» вимикає пристрій. Повторне вмикання пристрою можливе без натискання кнопки «деблокування захисту».

Якщо в АД вбудований тепловий захист (далі – ПВТЗ) і він не використовується, то вхід ПВТЗ з'єднується перемичкою на контактах клемника. Сигнал «Частота» використовується під час налагодження панелі УПЗ на стенді підприємством-виробником ТСУ.

**Висновки.** Впровадження в типові ТСУ уніфікованої панелі захисту для асинхронного двигуна, яка реалізована за допомогою простих і дешевих засобів автоматики, забезпечує безперервну і безаварійну роботу електропривода і робочого механізму. ТСУ з уніфікованою панеллю захисту значно розширюють області використання таких перетворювачів.

#### Список літератури:

1. Макаров А.М., Сергеев А.С., Крылов Е.Г., Сердобинцев Ю.П. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока. Волгоград, 2016. 192 с.
2. Lobov V.Y. Method for research of parametric control schemes by asynchronous motor. Metallurgical and Mining Industry. 2015. №. 6. P.102–108.
3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. Москва: Академия, 2004. 256 с.

4. Андреев В.А. Микропроцессорный терминал защиты АЕД з короткозамкнутим ротором РДЦ-01, виробництва ВАТ «Електротехнічний завод» РЕЛСіС. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. Москва, 2006. 639 с.

5. Пристрій захисту асинхронного двигуна: пат. 69523 А Україна, МПК H02P 29/04 (2006.01). № 2003042859; заяв. від 2 квітня 2003 р., опубл. 15 вересня 2004 р. Бюл. № 9. 9 с.

6. Зимин Е.Н. Защита асинхронных двигателей до 500 В. Москва; Ленинград: Энергия, 1967.

7. Электродвигатель с блоком защиты и управления: пат. 1462448 СССР: МПК H02H7/09. № 3982940; заявл. 03.12.1985, опубл. 28.02.1989. 3 с.

8. Устройство для защиты трехфазного асинхронного двигателя от обрыва фазы: пат. 1661904 СССР: МПК H02H7/09. № 4606174; заявл. 17.11.1988, опубл. 07.07.1991, 3 с.

### **ЗАЩИТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, УПРАВЛЯЕМОГО ТИРИСТОРНОЙ СТАНЦИЕЙ**

*В статье впервые предложено использовать структурную схему универсальной панели для защиты асинхронных двигателей мощностью до 400 кВт. Панель позволяет перекрыть диапазон ряда тиристорных станций управления, предназначенных для управления асинхронными двигателями различной мощности, без изменения схемы технических решений. Для реализации панели использованы простые и дешевые средств автоматизации, которые обеспечивают непрерывную работу электрического привода и рабочего механизма.*

**Ключевые слова:** электродвигатель, тиристорная станция управления, панель защиты, структурная схема, характеристики.

### **PROTECTION OF ASYNCHRONOUS MOTOR WHICH CONTROLLED BY THYRISTOR STATION**

*In the article for the first time, it is proposed to use the structural scheme of the universal panel for protection of asynchronous motors with the power up to 400 kW. The panel allows blocking the range of a number of thyristor control stations designed to control asynchronous motors of different power levels without changing the circuit-engineering solutions. For realization of the panel, simple and cheap automation means are used, providing continuous operation of electric drive and working mechanism.*

**Key words:** electric motor, thyristor control station, protection panel, structural diagram, characteristics.

**Магдич Б.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЗАДАЧА СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СТУДЕНТСЬКИХ РОБІТ НА ПЛАГІАТ ДЛЯ ЗАДАНОЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

*У роботі наведений огляд базових алгоритмів визначення відсотка унікальності заданого тексту щодо іншого. Також запропоновані модифікації в предметній області, що дозволяють детальніше визначити унікальність тексту.*

**Ключові слова:** *плагіат, алгоритм шинглів, дублікат, копія, авторські права.*

**Постановка проблеми.** Стрімкий розвиток мережі Інтернет поряд зі зростанням комп'ютерної грамотності широкої аудиторії користувачів стали причиною поширення плагіату в різних сферах людської діяльності, зокрема в галузі освіти та науки. В освіті проблема плагіату досить гостра й активно обговорюється. На жаль, студенти сьогодні не проводять багато часу в бібліотеках і архівах через те, що більшість інформації можна «скачати» із джерел мережі Інтернет або запозичити роботи студентів минулих років навчання і під час здачі матеріалу викладачеві банально замінити прізвище на своє, тобто порушується авторське право на інтелектуальну власність. Тому для викладачів досить актуальною є проблема виявлення плагіату в роботах студентів.

На жаль, викладач не може перевірити виконання завдання до лабораторної роботи чи реферату на унікальність за короткий проміжок часу. Щоб оцінити роботу студентів, спочатку необхідно порівняти роботи за однаковим завданням – знайти в них подібності, і тільки після цього перевіряти саму роботу. Для збільшення продуктивності та швидкості порівняння робіт і пошуку плагіату розробляють спеціальні системи, що могли б максимально автоматизувати процес. Бази даних таких систем обов'язково мають поповнюватися вже виконаними роботами кожного семестру чи року, щоб студенти не мали змоги користуватися запозиченнями з робіт студентів за попередні періоди.

Призначення такої системи полягає у визначенні авторства роботи студента, забезпеченні пошуку плагіату серед наявних робіт студентів і накопиченні робіт у базі даних системи. Пошук засновується на алгоритмах – детекторах тексту.

Цілями створення комп'ютеризованої системи є:  
– отримання оціночної інформації про роботу й узагальненого коефіцієнта плагіату в роботі;  
– підвищення ефективності оцінювання роботи студентів.

Аналіз алгоритмів для виявлення плагіату в текстових документах. Якщо говорити про методи виявлення плагіату в довільних текстах, то часто замість слова «плагіат» вживають термін «нечіткий дублікат». Ці методи можна розділити на два великі класи. Алгоритми, які використовують певні знання про всю розглянуту колекцію документів, називають глобальними, в іншому разі – локальними [4].

Спочатку розглянемо локальні алгоритми. Основна ідея таких методів зводиться до синтаксичного аналізу документа. На основі цього аналізу визначається відповідність документа певній кількості сигнатур.

### **LongSent**

Найпростішим прикладом може бути алгоритм, який обчислює хеш-функцію (MD5, SHA-2, CRC32) від конкатенації двох найдовших пропозицій у документі. Це і буде його сигнатурою. Точність такого алгоритму досить велика, але він має істотні вади щодо безпеки. Такий алгоритм легко обдурити. Досить відкорегувати лише два найдовших речення.

### **Методи на основі міри TF**

Більш ефективним способом знаходження нечітких дублікатів може стати метод, заснований на TF (term frequency – частота слова). TF – це відношення числа вживання конкретного слова до загальної кількості слів у документі. Так оцінюється важливість слова в межах окремого доку-

мента. Для кожного слова в документі обчислюється його вага, що дорівнює відношенню числа входження цього слова до загальної кількості слів документа. Далі зчіплюються  $n$  упорядкованих слів із найбільшим значенням ваги і обчислюється хеш-функція. Такий підхід дозволяє поліпшити ситуацію, але для вирішення реальних завдань цей спосіб не підходить.

**Методи, які використовують семантичні мережі**

Також цікавим підходом є використання семантичної мережі. Завдання визначення факту запозичення зводиться до порівняння моделей, що відображають смислове навантаження текстів. Аналіз ведеться з використанням алгоритмів на графах, модифікованих і оптимізованих для застосування в межах даного завдання. Використання схем аналізу даних у цьому методі дозволяє виявляти факт запозичення, навіть якщо оригінал був певним чином модифікований (виконаний переклад, слова були замінені на синоніми, текст був викладений із використанням іншої лексики тощо).

**Методи, які використовують поняття шинглів**

Один із перших методів, який був застосований на практиці (компанією AltaVista), ґрунтувався на понятті шинглів. Даний підхід був запропонований А. Broder [1].

Сьогодні він є найпопулярнішим алгоритмом для пошуку плагіату в довільних текстах. Він розроблений для пошуку копій (дублікатів) розглянутого тексту в документі та є потужним інструментом, що може боротися із проявами плагіату.

Метод заснований на представленні текстів у вигляді множини послідовностей фіксованої довжини, що складаються із сусідніх слів. За значного перетину таких множин документи будуть схожі один на одного.

Розберемо, через які етапи проходить текст [2], що буде порівнюватися:

1. Канонізація тексту і видалення «стоп-символів» і «стоп-слів».
2. Розбиття на шингли.
3. Обчислення хешів шинглів.



Рис. 1. Послідовність робіт етапу канонізації в алгоритмі шинглів

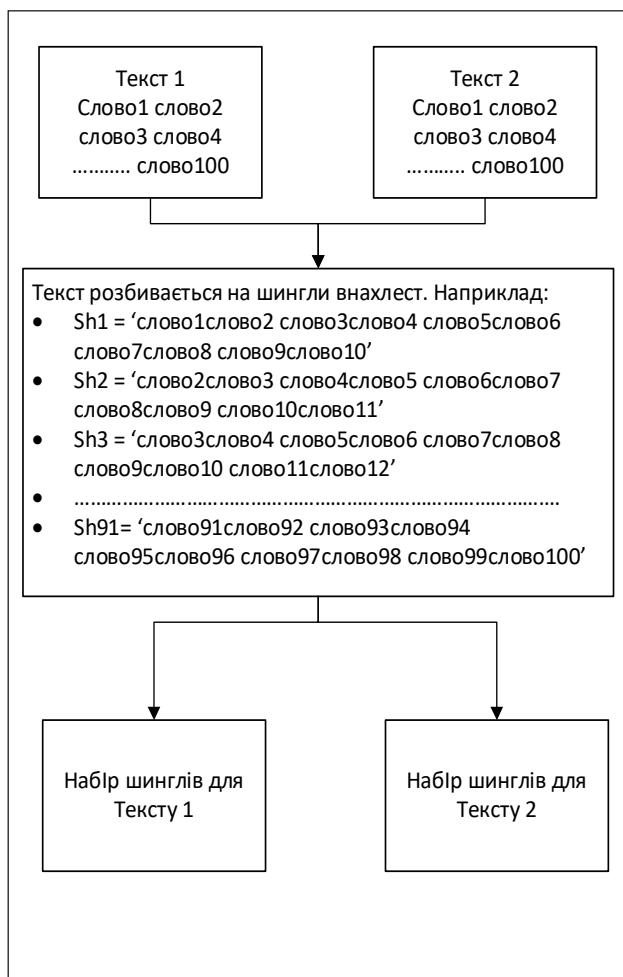


Рис. 2. Послідовність робіт етапу розбиття на шингли

4. Порівняння та визначення результату.

Розглянемо даний алгоритм детальніше:

**Канонізація тексту**

Канонізація тексту приводить оригінальний текст до єдиної нормальної форми. Текст очищається від «стоп-символів» і «стоп-слів» (прийменників, сполучників, знаків пунктуації тощо), які не повинні брати участь у порівнянні. Іноді також пропонується видаляти з тексту прикметники, бо вони не мають смислового навантаження. Також на етапі канонізації тексту можна приводити іменники до називного відмінку, єдиного числа або залишати від них тільки корінь. На виході цього етапу ми маємо текст, очищений від «сміття» і готовий до порівняння (рис. 1).

**Розбиття на шингли**

Шингли – виділені підпоследовності слів. Необхідно з порівнюваних текстів виділити підпоследовності слів, що йдуть один за одним по N штук (довжина шингла). Розбиваючи у такий спосіб текст на підпоследовності, ми отримуємо набір шинглів. Дії за кожним із пунктів виконуються для кожного з порівнюваних текстів (рис. 2).

**Обчислення хешів шинглів**

Принцип алгоритму шинглів полягає в порівнянні випадкової вибірки контрольних сум шинглів (підпоследовностей) двох текстів між собою. Тепер у кожного з текстів є свої набори шинглів. Треба розрахувати контрольну суму кожного із шинглів. Для розрахунку можна використовувати відомий алгоритм CRC32 (рис. 3).

**Порівняння та визначення результату**

На цьому етапі порівнюємо між собою всі елементи першого масиву з відповідними елементами

другого масиву, зчитуємо відношення однакових значень і отримуємо кінцевий результат (рис. 4).

**Специфіка предметної області, що дозволяє модифікувати наявні алгоритми для покращення показників виявлення плагіату**

Предметна область, в якій застосовується один із вищезазначених алгоритмів, має свою специфіку, що відкриває великий простір для модифікацій [3]. Під специфікою мається на увазі, що кожна область буде мати досить багато сталих виразів, словосполучень, слів. Наприклад, якщо взяти за область застосування тексти з історії, то це будуть різні дати, назви подій, прізвища й імена популярних в історії людей тощо. Якщо взяти за область математику, то нам необхідно звернути увагу на формули, назви геометричних фігур (квадрат, трикутник тощо), назви теорем, різні правила математики. Тому необхідно вилучати такі слова і словосполучення з тексту, щоб він мав вигляд, за якого порівняння з іншим текстом буде максимально якісне.

Під час застосування алгоритмів необхідно враховувати задані специфікації предметної області, оскільки вони впливають на відсоток унікальності. А нам необхідно максимально чітко визначити унікальність роботи студента і дізнатися, запозичив він текст чи ні.

Модифікації, що сприяють виявленню плагіату в заданій предметній області

Для більш ефективного виявлення плагіату в заданій предметній області необхідно враховувати її специфіку. Тобто треба з тесту вилучати

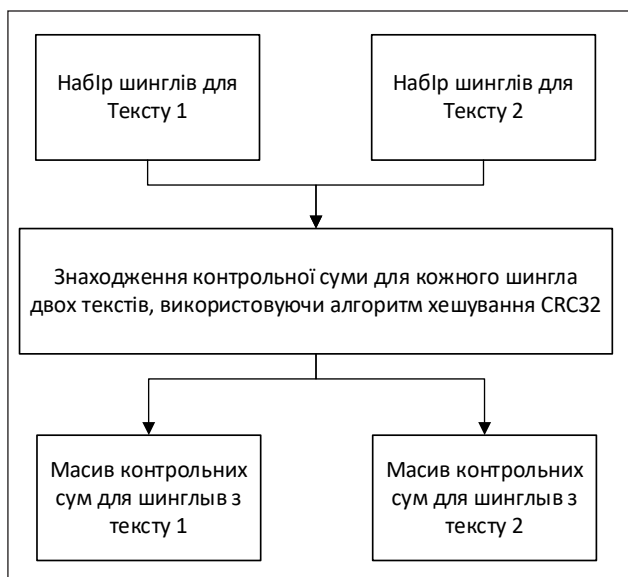


Рис. 3. Послідовність робіт під час знаходження контрольних сум шинглів

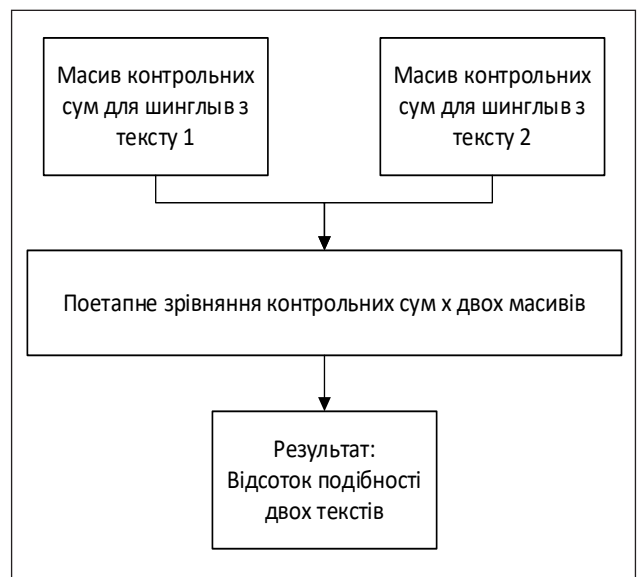


Рис. 4. Послідовність під час порівняння елементів масиву

всі стали слова та словосполучення. Також необхідно враховувати те, що слова і словосполучення мають синоніми, що теж впливає на роботу алгоритму.

Алгоритми для виявлення плагіату не розрізняють слова на часто вживані та нечасто вживані, вони будуть включати всі слова та словосполучення в оброблення, і в разі повтору у двох текстах однакових слів сприймають це за плагіат. Наприклад, візьмемо словосполучення «Друга світова війна», яке досить часто вживається в рефератах зі всесвітньої історії, це словосполучення має також синонім «Велика вітчизняна війна», якщо один студент використав перше словосполучення, а другий студент – інше словосполучення, то під час оброблення обох рефератів алгоритм буде читувати та видавати подібність у слові «війна», хоча насправді його не потрібно взагалі враховувати, оскільки воно є часто вживаним у різних історичних документах.

Як можна побачити, такі модифікації дадуть нам змогу максимально почистити текст від усього, що не потрібно для аналізу. На виході ми будемо мати очищений текст саме в нашій області застосування, який вже можна буде, за допомогою того чи іншого алгоритму, обробляти та порівнювати з іншим текстом.

### **Модифікована автоматизована система виявлення плагіату**

Отже, ми отримаємо модифікований алгоритм, що дозволить нам досить коректно виявляти плагіат у заданій галузі. Проте необхідно створити саме автоматизовану систему на базі цього модифікованого алгоритму, така система буде мати декілька цінних переваг, а саме: перевірка роботи на унікальність, накопичення робіт і можливість накопичувати сталі словосполучення та слова. Необхідно створити базу знань, в якій можна зберігати унікальні роботи (зазвичай відсоток уні-

кальності – понад 80%), сталі слова, словосполучення та їх синоніми. Цінність такої бази знань буде збільшуватися з кожним циклом роботи, тому що вона буде поповнюватися. Більшість популярних платформ, що перевіряють роботи на плагіат, працюють саме за таким принципом.

Така система не дасть можливості студентам використовувати наробітки попередніх поколінь. А викладач буде знати чіткий процент того, наскільки робота була запозичена чи вона оригінальна, а в разі виявлення оригінальності роботи зможе поповнити базу знань. Надалі викладач матиме змогу ділитися своєю базою знань з іншими викладачами, так можна передавати свої надбання з того чи іншого предмета новим викладачам, що дозволить їм перевірити роботу на унікальність і правильно оцінити знання студентів.

**Висновки.** Впровадження такої системи на рівні університету дозволить викладачам швидко й якісно виявляти запозичення в працях студентів. Що, у свою чергу, сприятиме самостійному виконанню студентами своїх робіт. Якість знань у студентів буде збільшуватися, тому що будуть збільшуватися вимоги до робіт у викладачів.

Також дана система має великі перспективи для подальших модифікацій. Наприклад, аналіз роботи на плагіат із використанням засобів пошукових платформ (пошук в Інтернеті), тому що досить часто студенти саме звідти беруть запозичену інформацію, з порушенням авторських прав чи без. Надалі можливе розроблення і впровадження алгоритмів аналізу картинок, схем, кодів програм тощо. Також можна створити бази знань для різних предметних областей, що дозволить застосовувати автоматизовану систему не тільки в межах однієї навчальної дисципліни, але й у всьому навчальному просторі навчального закладу.

### **Список літератури:**

1. Broder M. Charikar et al. Min-wise independent permutations, Proceedings of the thirtieth annual ACM symposium on Theory of computing. 1998.
2. W-Shingling. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/W-shingling>.
3. Moss. A. System for Detecting Software Plagiarism. URL: <https://theory.stanford.edu/~aiken/moss/>.
4. Miller C. Detecting duplicates: a searcher's dream come true. URL: <https://www.questia.com/magazine/1G1-9065495/detecting-duplicates-a-searcher-s-dream-come-true>.

### **ЗАДАЧА СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТУДЕНЧЕСКИХ РАБОТ НА ПЛАГИАТ ДЛЯ ЗАДАННОЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ**

*В работе приведен обзор базовых алгоритмов для определения процента уникальности заданного текста относительно другого. Также определены модификации в предметной области, позволяющие подробнее определить уникальность текста.*

**Ключевые слова:** плагіат, алгоритм шинглов, дублікат, копія, авторські права.

**TASK OF THE AUTOMATION SYSTEM CREATION FOR VERIFICATION  
STUDENT WORKS FOR PLAGIARISM FOR A GIVEN SUBJECT AREA**

*This paper is the review of basic algorithms by which is possible to determine the percentage of a given text unique compared to another. The modifications in a subject area is describe, enabling more acceptable text to determine uniqueness.*

**Key words:** *plagiarism, algorithm Shingle, duplicate, copy, copyright protection.*



*Медушевський С.В.*

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

## РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ І ПРИНЦИПІВ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПАКЕТА ВАЛІДАЦІЙНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

*У статті порушується проблема побудови ефективного забезпечення якості, надійності, безпеки і цілісності наукомістких даних у фармацевтичній сфері під час використання автоматизованої інформаційної системи. Наведено результати теоретичних досліджень, пов'язаних із розробленням методології побудови системи забезпечення якості проекту розроблення, впровадження та валідації автоматизованої інформаційної системи, призначеної для роботи в умовах швидкозмінних вимог користувача. З урахуванням принципів пріоритетності, комплексності та сумісності запропонована узагальнена схема проектування та використання документації. Розроблено наукові підходи щодо побудови структурних елементів пакета валідаційної документації на автоматизованої інформаційної системи, які охоплюють використання трирівневої ієрархічної схеми і процедури оцінки нормативних складників міжнародних стандартів. Це дозволяє з урахуванням специфіки виробництв виділити інноваційні характеристики (процесний підхід, системний підхід, ступінь затребуваності, ступінь сприйняття).*

**Ключові слова:** валідація, документація, інформаційна система, кваліметричний підхід, проект, ризики, якість, GMP, TQM.

**Постановка проблеми.** Ефективним інструментом забезпечення якості, надійності, безпеки, цілісності наукомістких даних у фармацевтичній сфері в умовах ринкових відносин є використання процесно-орієнтованих автоматизованих інформаційних систем (далі – АІС) [1]. Розроблення і впровадження такої системи, яка результативно працює в галузі фармацевтичного виробництва, є важливою науково-прикладною проблемою.

Для оцінки якості АІС (на всіх етапах життєвого циклу) необхідно уточнювати цілу низку нормативних параметрів, що визначають її технічний і призначений для користувача рівень. Однак наявна сьогодні методологія недосконала і вимагає розроблення додаткових принципів і підходів, що дозволяють підвищити рівень інформативності, надійності і достовірності оцінюваних параметрів у процесі валідації АІС.

Для результативного функціонування й ефективною експлуатації АІС необхідно мати раціональний (за структурою, змістом і науково-технічним рівнем) пакет валідаційної документації, який відповідав би принципам системності, комплексності, інформативності й адаптивності.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У низці теоретичних робіт [2; 3], присвячених питанням проведення валідації АІС, особливо підкреслюється, що вони являють собою відкриті інформаційно насичені системи, в яких обертається величезний масив різноманітної інформації, пов'язаної із забезпеченням діяльності підприємства, зокрема й з оцінкою якості документування ключових процесів і процедур.

У роботах [4; 5] на основі узагальнення аналізу закордонного досвіду показано, що результативне використання АІС на будь-якому промисловому підприємстві передбачає створення ефективної інформаційної підтримки, побудованої на базі пріоритетних міжнародних стандартів і рекомендацій, що вимагає під час проектування ключових документів враховувати вимоги TQM і системного процесного підходу.

У низці робіт [6; 7; 8] підкреслюється, що для побудови АІС на підприємстві повинна бути сформована стратегія впровадження інформаційних технологій і адаптована процедура документального підтвердження того, що АІС розроблена коректно, працює стабільно і видає очікуваний результат.

Отже, підприємствам під час формування довгострокової стратегії розвитку АІС необхідно розробити і науково обґрунтувати використання механізмів і процедур, що дозволяють на сучасному рівні управляти і оцінювати рівень ефективності використання системи за фактичними даними заданих параметрів і простежувати якість і повноту виконання заявлених вимог користувачів.

Крім того, практична реалізація адекватної інформаційної підтримки систем управління, на думку авторів [9; 10], обмежується переліком об'єктивних причин, однією з яких є відсутність математичних моделей, здатних чітко визначити й описувати ключові процеси, які супроводжують життєвий цикл АІС [11].

Врдночас варто зазначити, що кожна із процедур запланованого алгоритму валідації [12] вимагає організації відповідної документальної підтримки, яка надалі має стати основою для повноцінного переходу на використання АІС і відмови від паперового ведення документації.

Тому необхідно спочатку оцінити показники, що характеризують технічну ефективність, надійність

і безпеку реалізації проекту АІС, а згодом уточнювати й оцінювати показники, що впливають на ступінь виконання заявлених вимог користувача.

Аналіз науково-технічної літератури показав, що зараз діють об'єктивні чинники, що вимагають створення нових механізмів формування валідаційної документації.

Розроблення комплексної методології формалізованого проектування АІС із використанням інформаційних моделей, модульного підходу, механізмів та інструментів уніфікації документації є важливим науково-практичним завданням, позитивне вирішення якого дозволить значно знизити матеріальні, фінансові та людські витрати, пов'язані з розробленням, впровадженням і валідацією АІС.

**Постановка завдання. Мета статті** полягає у формулюванні наукової гіпотези щодо розроблення теоретичних основ формування пакета валідаційної документації та пропозиції концепції побудови основних положень універсального пакета валідаційної документації на АІС, впровадженої на фармацевтичному виробництві.

Таблиця 1

**Критерії прийнятності пакета валідаційної документації**

№ п/п	Параметр	Характеристика
1.	Простежуванність	Документація повинна бути структурованою, із чіткими взаємозв'язками між документами
2.	Повнота	Документація має відображати всі аспекти функціонування АІС і містити інформацію про всі процеси, процедури, функції
3.	Адекватність	Відповідність вимогам нормативних документів
4.	Кодифікація	Повинна бути чітко визначена кодифікація документа, об'єкта, процесу, процедури, функції
5.	Достовірність	Документація повинна відповідати процесам, використовуваним на виробництві замовника
6.	Простота	Текст документа мусить бути коротким, точним, однозначним, зрозумілим
7.	Актуальність	Всі зміни повинні своєчасно відображатися в кожному документі, всі документи мають містити нумерацію сторінок, підписи, дати

Таблиця 2

**Матриця розрахунку вектор-пріоритетів**

Критерії прийнятності	Процесний підхід	Системний підхід	Ступінь сприйняття	Загребуваність	Вектор пріоритетів
Простежуванність (A <sub>1</sub> )	1	3	2	5	X <sub>1</sub> = 0,268
Повнота (A <sub>2</sub> )	3	1	4	4	X <sub>2</sub> = 0,307
Адекватність (A <sub>3</sub> )	2	4	3	5	X <sub>3</sub> = 0,370
Простота (A <sub>4</sub> )	2	3	3	2	X <sub>4</sub> = 0,244
Кодифікація (A <sub>5</sub> )	3	2	2	2	X <sub>5</sub> = 0,189
Достовірність (A <sub>6</sub> )	4	3	2	4	X <sub>6</sub> = 0,341
Актуальність (A <sub>7</sub> )	5	4	5	5	X <sub>7</sub> = 0,451

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження базувалися на застосуванні ідеологій TQM, Six sigma, декомпозиції, експертних оцінок, структурного аналізу і включали розроблення механізмів оцінки нормативних складників стандартів і встановлення критеріїв прийнятності АІС.

Кваліметрична оцінка складників пакета валідаційної документації проводилася методом ієрархічної декомпозиції згідно з рис. 1. Для цього були визначені критерії прийнятності, за допомогою яких за шкалою відносин, що має діапазон від 1 до 5, оцінювалися вектори – пріоритети структурних елементів АІС. Обраний діапазон дозво-

лив завдяки компромісним рішенням врахувати неінформативні параметри і підвищити деталізацію тестування на відповідних стадіях.

Встановлено, що функціонуванню ключових функцій АІС притаманні елементи невизначеності, які зумовлюють появу небезпечних ситуацій (ризиків), пов'язаних із випуском неякісної, а отже, небезпечної продукції. Для встановлення ступеня важливості цільових функцій АІС використовувалося значення величини ( $G_i$ ), яке доповнювало поточну відстань ( $L_i$ ) до 1:

$$G_i = 1 - L_i, \quad (1)$$

де  $L_i$  – відстань від ідеальної точки для  $i$ -го об'єкта;

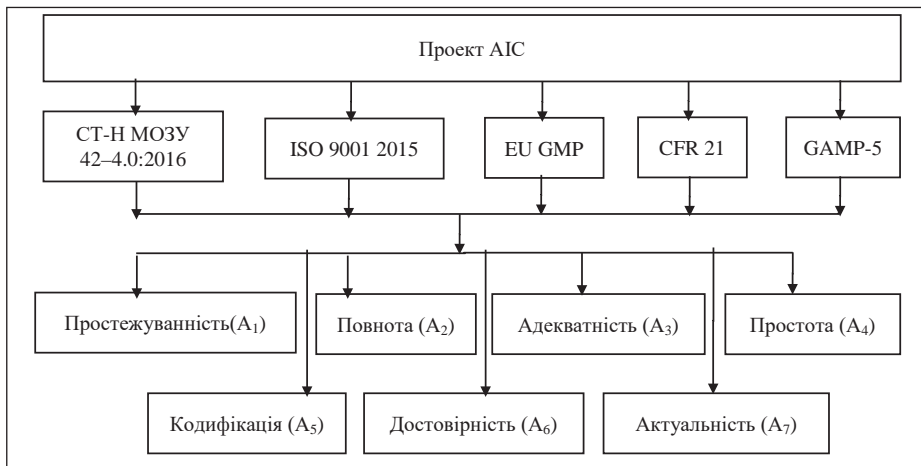


Рис. 1. Структурна схема механізму кваліметричної оцінки



Рис. 2. Структурна схема проектування та використання валідаційної документації

$$L_i = \sqrt{\sum_{j=1}^M \gamma_j (1 - Y'_{ji})^2}, \quad (2)$$

де  $M$  – кількість критеріїв якості;  $j$  – номер поточного критерію якості;  $Y'_{ji}$  – нормоване значення  $j$ -го критерію якості для  $i$ -го об'єкта АІС;  $\gamma_j$  – ваговий коефіцієнт, що визначає значущість  $j$ -го критерію якості.

Аналіз формули (1) показав, що, чим більше значення ( $G_j$ ), тим ближче показник до ідеальної точки. Такий підхід дозволив провести оцінювання ступеня важливості за принципом: чим краще показник – тим більше значення рейтингу він має.

З урахуванням принципів пріоритетності, комплексності та сумісності запропонована узагальнена схема проектування та використання документації. Схема містить процедури оцінки вхідних даних для розроблення валідаційної документації, процес проектування документації та процедур актуалізації, що складаються з етапів перевірки, аналізу, внесення змін і затвердження. Структурна схема процесу проектування та використання пакета документації наведена на рис. 2, а вимоги до його побудови зведені в таблицю 1.

Для реалізації наведених у таблиці принципів запропонована методика, яка передбачає встановлення доцільності використання вимог і рекомендацій регуляторних органів для формування структури документації та типізації форм викладу наповнення документів.

З метою ранжирування виділених критеріїв була проведена оцінка векторів-пріоритетів, а також їхніх вагових коефіцієнтів, результати числових значень зведені в табл. 2.

Для розрахунку значення векторів-пріоритетів ( $X_i$ ) для кожного критерію використовувалася залежність, яка дозволяє враховувати значення вектора ( $\alpha_i$ ) і суму порядкової числових рішень ( $k$ ).

$$X_i = \frac{\alpha_i}{k}, \quad (3)$$

$$\alpha_i = \sqrt[n]{a_{n1} + a_{n2} + \dots + a_{ni}}, \quad k = \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{a_1 + a_2 + \dots + a_n}. \quad (4)$$

Такий підхід дозволяє з урахуванням специфіки фармацевтичного виробництва формалізувати вимоги користувача до конфігурації АІС і формувати точний і достовірний пакет валідаційної документації.

Для оцінки якості структурних елементів валідаційної документації запропоновано використовувати кваліметричний підхід, суть якого полягає у формуванні частотного словника термінів і визначенні статистичних характеристик структурних одиниць.

Такий підхід дозволив під час проектування відповідного документа більш інформативно й обґрунтовано вибирати його структуру і наповнення.

Встановлення рівнів узагальнених пріоритетів у роботі проводилося за принципом синтезування. Водночас узагальнений пріоритет ( $L_n$ ) визначався залежно від порядкового номера об'єкта ( $n$ ) за такою залежністю:

$$L_n = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_n x_n. \quad (5)$$

Числову оцінку якості кожного сформованого документа, яка дозволяє оцінити доцільність і перспективність обраної типової структури, визначають за формулою:

$$K = \sum m_i \cdot K_i. \quad (6)$$

де  $K_i$  – оцінка окремих типів положень (вимог, понять, правил, коментарів);  $m_i$  – коефіцієнт вагомості кожного з положень (визначається експертним шляхом).

Отже, отримані залежності дозволили сформувати принципи побудови методології проектування валідаційної документації, розробити алгоритм її використання і запропонувати механізми оцінки якості окремо взятого документа.

Під час створення проекту пакета валідаційної документації виходили з того, що аспект кожного нового документа повинен раціонально враховувати всі нормативні складники стандартів і забезпечувати ефективність компонування, виконання та простежуваності вимог користувачів до АІС.

Тому в основу пакета документації, додатково до вимог EU GMP, 21 CFR, рекомендацій GAMP-5, принципів TQM, були покладені принципи системності, комплексності, інформативності, які підсилюють синергетичний ефект і дозволяють розглядати кожен документ як раціональне об'єднання істотних вимог (нормативних складників) в єдине ціле для досягнення поставлених стратегічних і тактичних цілей проектування і розроблення, впровадження і використання АІС на фармацевтичному підприємстві.

**Висновки.** На основі проведеного аналізу і встановлених закономірностей була сформульована наукова гіпотеза, яка пов'язана з розробленням теоретичних основ формування валідаційної документації на базі міжнародних стандартів і рекомендацій: якісна АІС може бути отримана тільки за умови комплексного використання стандартів ISO-GMP-CFR як синергія формальних моделей і процедур нормативних вимог до АІС, що використовуються на фармацевтичних виробництвах.

Показано, що застосування формалізованих принципів і підходів дозволяє з більшим ступенем вірогідності і надійності впровадити АІС на

фармацевтичному виробництві, а також розробити раціональний пакет валідаційної документації, що регламентує її ефективне використання.

На основі критичного аналізу було визначено коло невирішених проблемних завдань, пов'язаних із розробленням, використанням і впровадженням теоретичних основ в процесі валідації АІС на базі міжнародних стандартів та рекомендацій, а також

висунута наукова гіпотеза результативного формування валідаційної документації.

Запропоновано концепцію побудови основних положень універсального пакета валідаційної документації АІС, яка дозволяє на основі принципів систематизації та інтеграції чисельно оцінювати його нормативні складники і формувати структуру документа.

### Список літератури:

1. СТ-Н МОЗУ 42–4.0:2016. Настанова. Лікарські засоби. Належна виробнича практика. Київ: МОЗ України, 2016. 357 с.
2. Сыбанкулова М.А. Жетерова С.К., Байзолданов Т.Б. Планирование и проведение валидации на фармацевтическом предприятии. Вестник Казахского национального медицинского университета. Медицина и здравоохранение. 2010. С. 210–212.
3. Демин А.А., Карпунин А.А., Ганев Ю.М. Методы верификации и валидации сложных программных систем. Программные продукты и системы. Автоматика. Вычислительная техника. 2014. № 4. С. 229–232.
4. Бритов Г.С. Верификация, валидация и тестирование компьютерных моделей линейных динамических систем. Информационно-управляющие системы. Кибернетика. 2015. № 2. С. 75–82.
5. Карпунин А.А., Ганев Ю.М., Чернов М.М. Методы обеспечения качества при проектировании сложных программных систем. Надежность и качество сложных систем. Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук. 2015. № 2. С. 78–84.
6. Азембаев А.А., Кусниева А.Е. Системы управления качеством на фармацевтическом предприятии согласно GMP. Вестник Алматинского государственного института усовершенствования врачей. Биофармация. 2012. № 1. С. 53–54.
7. Былибердин В.А., Белевцев А.М. Анализ основных процессов обеспечения надежности программных средств АСУ специального назначения. Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2015. С. 62–69.
8. Малаховски Я.М., Корнев Г.А. Валидация автоматов с переменными на функциональных языках программирования. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. Автоматика. Вычислительная техника. 2010. № 6. С. 73–77.
9. Епишин И.Г., Репин Л.Р., Фионова А.Ю. Экспертная технология управления риском при разработке электронного оборудования автоматизированных систем управления технологическими процессами для опасных производств. Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. Машиностроение. 2016. № 2. С. 35–41.
10. Кавчук Д.А., Тумоян Е.П., Евстафьев Г.А. Интеллектуальный подход к анализу рисков и уязвимостей информационных систем. Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2013. С. 79–85.
11. Медушевський С.В., Єфіменко Н.А. Аналіз фаз життєвого циклу автоматизованої інформаційної системи в рамках виконання валідаційних робіт. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. 2016. № 3. С. 50–56.
12. Медушевський С.В., Єфіменко Н.А. Ключові елементи методики планування валідації, для забезпечення та контролю якості проекту розробки та впровадження автоматизованої інформаційної системи. Nauka i Studia. Технічні науки. 2017. № 19. С. 6–12.

### РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ И ПРИНЦИПОВ КОМПЛЕКСНОГО ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПАКЕТА ВАЛИДАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*В статье поднимается проблема построения эффективного обеспечения качества, надежности, безопасности и целостности наукоемких данных в фармацевтической сфере при использовании автоматизированной информационной системы. Приведены результаты теоретических исследований, связанных с разработкой методологии построения системы обеспечения качества проекта разработки, внедрения и валидации автоматизированной информационной системы, предназначенной для работы в условиях быстро меняющихся требований пользователя. С учетом принципов приоритетности, комплексности и совместимости предложена обобщенная схема проектирования и использо-*

вания документации. Разработаны научные подходы к построению структурных элементов пакета валидационной документации на автоматизированной информационной системе, которые включают использование трехуровневой иерархической схемы и процедуры оценки нормативных составляющих международных стандартов. Это позволяет с учетом специфики производств выделить инновационные характеристики (процессный подход, системный подход, степень востребованности, степень восприятия).

**Ключевые слова:** валидация, документация, информационная система, квалиметрический подход, проект, риски, качество, GMP, TQM.

#### **DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND PRINCIPLES FOR THE COMPLEX FORMATION AND QUALITY EVALUATION OF THE VALIDATION DOCUMENTATION PACKAGE OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM**

The article raises a problem of constructing effective quality, reliability, security, and integrity of data assurance in pharmaceutical sphere when using the automated information system. There are presented the results of theoretical studies related to the development of a methodology for constructing a quality assurance system of the project for the development, implementation, and validation of the automated information system designed to deal with the rapidly changing user requirements. Taking into account the principles of priority, complexity, and compatibility, there is proposed a generalized scheme for the design and use of documentation. There is introduced the concept of building the basic provisions of the universal automated information system validation documentation package, which allows on the basis of organization and integration principles to numerically assess its regulatory components and build the document structure. There have been developed the scientific approaches to construct the structural elements of the validation documentation package for the automated information system, which include the use of a three-level hierarchical scheme and the procedure for assessing the regulatory components of international standards. This makes it possible to distinguish innovative characteristics (a process approach, a system approach, a degree of demand, a degree of perception), taking into account the specifics of production.

**Key words:** validation, documentation, information system, qualimetric approach, project, risks, quality, GMP, TQM.

УДК 004.032.26:577.352.468

**Мнацаканян В.Г.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

**Мнацаканян М.С.**

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

*У статті проведено аналіз функціонування транспортної мережі великого індустріального центру, який показав, що численні структури, що забезпечують функціонування транспортно-дорожнього комплексу, потребують реальних даних про фактичний стан завантаження міських магістралей під час планування, реконструкції та управління дорожнім рухом. Порівняльний аналіз стратегій показав, що найперспективнішою стратегією є перетворення міської системи на S-гіпермережу фізичного простору на базі алгоритмів інформаційного програмування. Одним із завдань, яке може бути вирішено, базуючись на цій теорії, є управління світлофорами на перехрестях будь-якої конфігурації. Цей механізм дозволить скоротити час простою автомобілів на перехрестях, тим самим зменшивши екологічне навантаження на цих відрізках маршруту.*

**Ключові слова:** транспортний засіб, дорожні умови, маршрут, гіпермережа, світлофорне регулювання, індустріальний центр, екологічна безпека.

**Постановка проблеми.** Розвиток інфраструктури великих індустріальних центрів супроводжується постійним зростанням кількісної та якісної оцінок транспортних потоків. Вимоги підприємств і громадян до якості транспортного обслуговування також постійно зростають. Обґрунтованість планування робіт за вказаними напрямками, правильність вибору пріоритетності тих чи інших заходів значною мірою визначається повнотою і достовірністю вихідних даних про показники завантаженості вулично-дорожньої мережі.

Ефективність функціонування сітілогістичної системи транспортних потоків в умовах впливу невизначених чинників пов'язана з високим рівнем міського управління. Реалізація тільки технічних і технологічних рішень для підвищення ефективності функціонування транспортної системи, як показує практика, не може поліпшити якість функціонування цих систем.

У ситуації, що склалася, актуальною є постановка завдання отримання інформації для розвитку екологічної безпеки транспортної інфраструктури міста шляхом застосування сучасного математичного апарату до накопичених даних транспортного

моніторингу. Із цією метою необхідний пошук нових шляхів формування маршрутизації міського, промислового і муніципального транспорту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** в області сітілогістичних систем показав, що велика частина робіт спрямована на впровадження технічних і технологічних прийомів вирівнювання транспортної навантаженості [1–3].

Водночас управління сітілогістичною системою транспортних потоків характеризується впливом невизначених чинників і, як наслідок, необхідністю використання методів штучного інтелекту під час вироблення керуючих впливів, спрямованих на забезпечення умов надійної і безпечної роботи всіх видів транспорту, підвищення їхньої взаємодії, ефективності використання транспортних засобів і пропускну здатності транспортних комунікацій.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення моделі та методів формування оптимального маршруту на основі інтелектуальних систем і математичних апаратів в умовах екологічної безпеки міста.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Неефективне функціонування міської транспорт-

ної системи є гострою економічною, екологічною та соціальною проблемою. Маріупольський індустріальний центр належить до найбільш екологічно напружених районах України. Економіці міста властива висока питома вага ресурсомістких і енергоємних технологій, впровадження та нарощування яких здійснювалося без будівництва відповідних очисних споруд. Це призвело до значної деградації довкілля міста Маріуполя, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, атмосферного повітря і земель, нагромадження в дуже великих кількостях шкідливих, зокрема й токсичних, відходів виробництва. Однією з найгостріших проблем міста є забруднення повітряного басейну. Стан атмосферного повітря Маріуполя визначає соціально-промисловий комплекс, що склався на території міста і характеризується викидами забруднюючих речовин (далі – ЗВ) в атмосферу, серед яких значна частка викидів припадає на автомобільний транспорт, а також метеорологічні умови, які суттєво впливають на поширення і розсіювання ЗР.

Серед основних чинників, які впливають на навколишнє середовище і здоров'я людини, виділено такі: викиди в повітря забруднюючих речовин, дорожньо-транспортний травматизм, шум, нестійкий розвиток міських районів, вібрація, швидкість руху, виділення тепла, інтенсивність руху [4].

Аналіз транспортної системи м. Маріуполя показав, що найбільше впливають на населення такі показники, як рівень шуму, рівень викидів вихлопних газів, рівень вібрації.

Проведений моніторинг автотранспорту (табл. 2) на головних магістралях транспортної системи м. Маріуполя на годину-пік (12–14 годин) будніх днів показав значне перевищення рівня викидів автомобілів над його гранично допустимою концентрацією [5]. На підтвердження даного факту надано результати розрахунку рівня викидів на відрізку 1 на підставі методики Д.В. Капського – Д.В. Рожанського (табл. 1, рис. 1) [6].

У результаті проведеного аналізу діяльності транспортної системи м. Маріуполя і вимог, що пред'являються населенням до рівня транспорт-

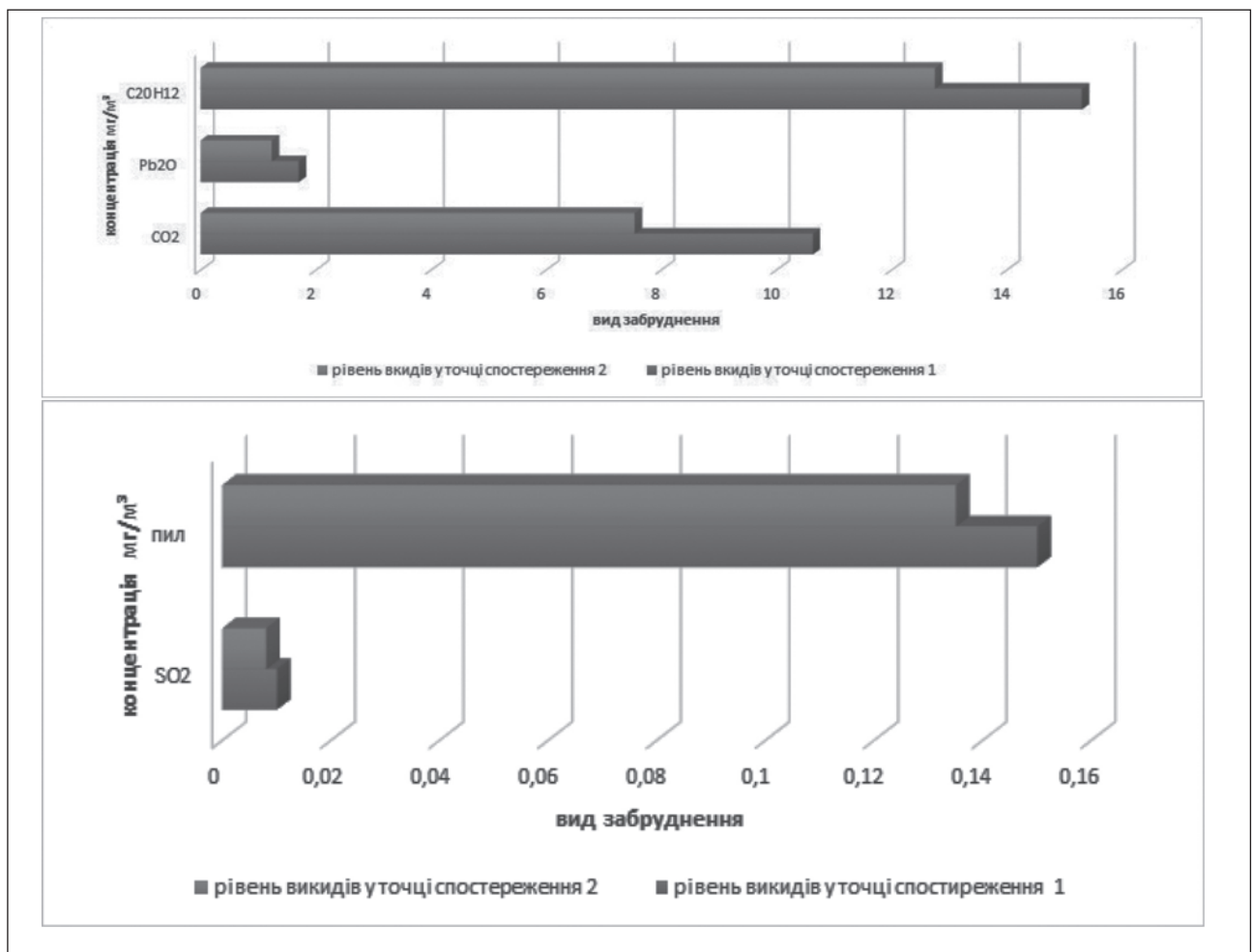


Рис. 1. Порівняльний аналіз викидів на досліджуваних ділянках маршрутів



ного обслуговування, визначені основні шляхи зниження екологічних збитків від автотранспорту:

- раціоналізація руху транспортних засобів;
- захист від шуму;
- поліпшення дорожнього покриття;
- використання палива підвищеної якості або альтернативного палива.

Як перспективний шлях зниження екологічних збитків від автотранспорту нами обрана раціоналізація руху транспортних засобів.

Формування раціональних маршрутів руху транспортних засобів пропонується провести з використанням імітаційної моделі, заснованої на теорії S-гіпермееж [7; 8], що дозволяє врахувати вимоги, що висуваються до процесу здійснення автоперевезень мешканцями і промисловими підприємствами індустріальних центрів.

Транспортна інфраструктура індустріального центру являє собою складну ієрархічну нестаціонарну систему мережевої структури. Структурна

модель функціонування споживацьких транспортних мереж індустріального центру представлена на рис. 2.

Збільшення інтенсивності руху, поширення заторових ситуацій на основних міських маршрутах – все це негативно впливає на екологічну ситуацію міста та викликає необхідність удосконалення організації руху, технологій забезпечення пропускної здатності (далі – ПЗ) міських вулично-дорожніх мереж (далі – ВДМ) і підвищення ефективності транспортного обслуговування індустріального центру, а також гарантування дорожньої безпеки під час функціонування автомобільного транспорту.

Зосередження уздовж основних міських магістралей торгових, офісних і промислових об’єктів спричиняє відчутне зниження ПЗ магістралей через перешкоди руху у вигляді місць для паркування, множинних пішохідних переходів, зупинок міського пасажирського транспорту, а також

Таблиця 1

Інтенсивність руху автотранспорту, од./рік

Проспекти	Точки проведення моніторингу	Кількість транспортних засобів		
		Вантажних	Легкових	Разом
Леніна	Дім звязку	412	1 371	1 783
Нахімова	Начало проспекту – маг. «Азовье»	203	461	664
Луніна	Другий ЗД переїзд	29	434	463
Металлургів	Центральний ринок	388	1 206	1 594
Будівельників	ринок Бахчиванджи	192	930	1 122
Перемоги	пл. Перемоги	183	946	1 129

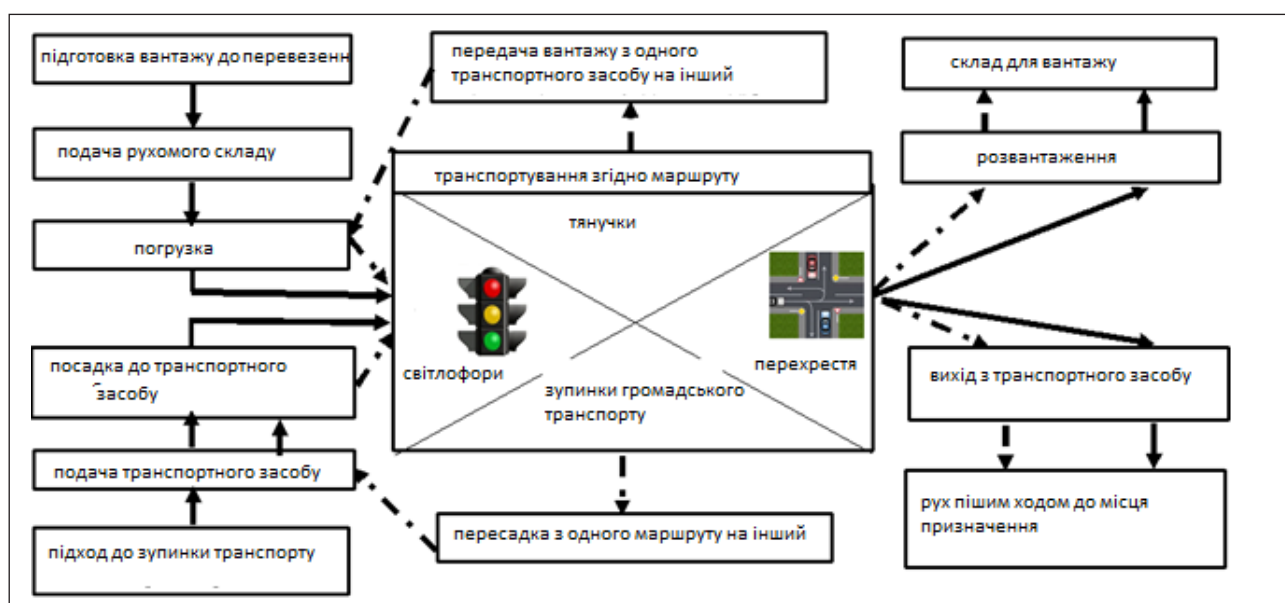


Рис. 2. Технологічна схеми перевезення вантажів і пасажирів в умовах функціонування міських індустріальних транспортних мереж

виїзду з територій промислових зон автомобілів великого тоннажу.

Численні структури, що забезпечують функціонування транспортно-дорожнього комплексу індустріального центру, потребують реальних даних про фактичний стан завантаження міських магістралей під час планування, реконструкції й управління дорожнім рухом. Особливої уваги потребує проблема взаємодії транспортної системи міста з іншими системами, представлена на рис. 3.

Після проведення натурних досліджень було визначено, що ефективна взаємодія транспортної системи з іншими системами можлива за умови:

- постійного контролю використання фактичної величини ПЗ на конкретних елементах міських магістралей;
- точної оцінки рівня завантаженості окремих елементів ВДМ (ділянок, що перебувають у критичному стані через завантаження або аварійність);
- розроблення й оперативної реалізації заходів, що компенсують перешкоди руху з урахуванням фактичного значення рівня завантаження елементів

ВДМ для гарантування ефективності та безпеки руху.

Рішення проблеми управління ефективністю взаємодії транспортної системи ускладнюється відсутністю єдності методики визначення ефективності як для транспортної системи загалом, так і для складників її компонентів, а також відсутністю методики моніторингу процесу управління міськими системами.

Порівняльний аналіз стратегій показав, що найперспективнішою стратегією є перетворення міської системи на гіпермережу фізичного простору на базі алгоритмів інформаційного програмування.

За можливості математична модель має об'єднувати всі чинники, що впливають на вигляд і функціонування транспортної системи [9]. Розглянемо приклади взаємодії різноманітних пасажирських мереж індустріальних центрів. На рис. 4 представлена S-гіпермережа із трьома видами транспортних систем: тролейбус, автобус, трамвай.

Одним із завдань, що можна вирішити базуючись на теорії S-гіпермережі, може бути управ-

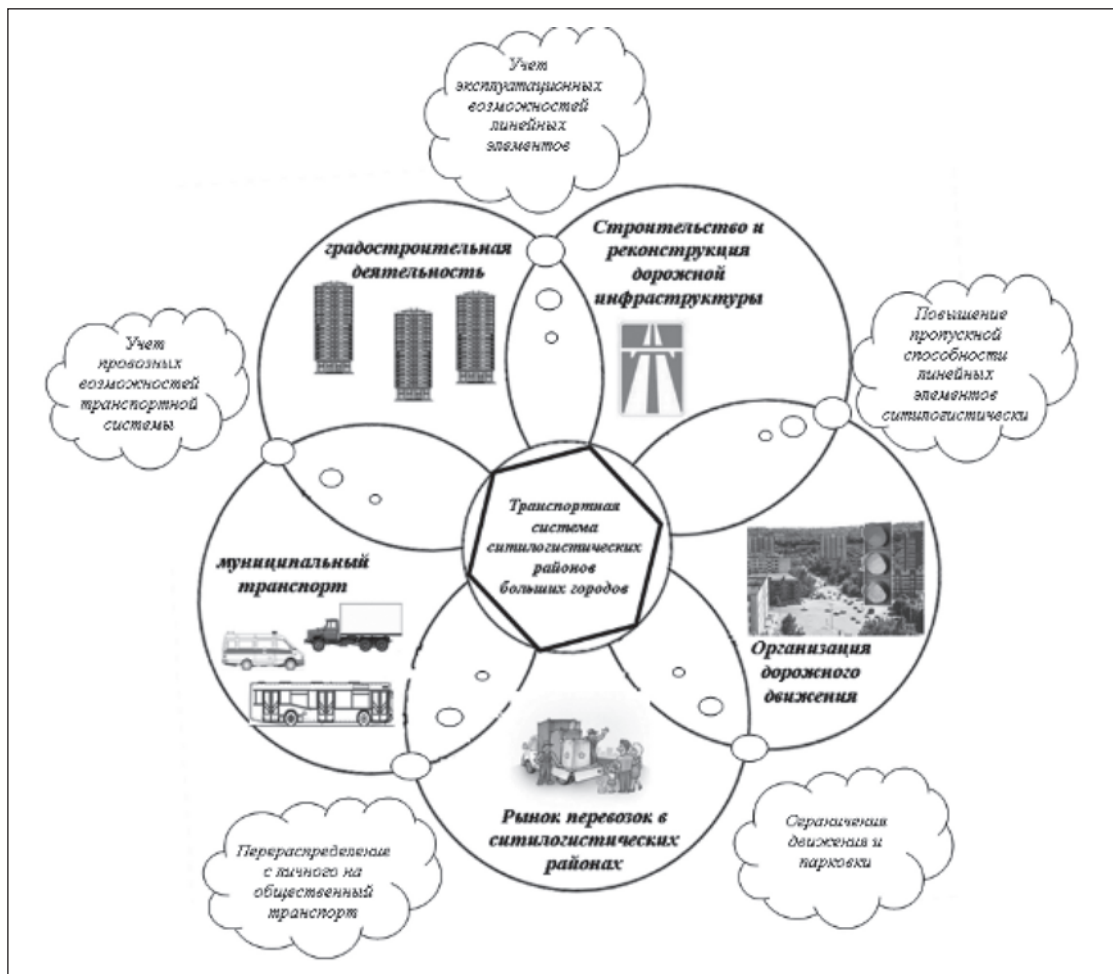


Рис. 3. Взаємодія транспортної системи міста з іншими системами

ліній світлофорами на перехрестях будь-якої конфігурації. Нехай задана S-гіпермережа – модель будь-якого транзитного перехрестя, тобто на окружності диска геометричної моделі вузла  $u_j$  розташовуються полюси, відповідні входам на перехресті. Нехай пара полюсів з'єднується ребром  $u_i^j = (x_k^j, x_l^j)$  і має місце потік транспорту з полюса  $x_{jk}$  на полюс  $x_{jl}$ . У результаті отримуємо граф  $P_i = (X, U)$ , відповідний потокам транспорту через перехрестя  $u_j$ . Вага  $V(u^j)$  характеризує величину потоку автотранспортних засобів за певний проміжок часу. Якщо S-гіпермережа нестационарна, то величина  $V(u^j)$  залежить від часу  $t$ . Зазвичай добу можна розділити на кілька частин, у кожній з яких значення  $V(u^j, ti)$  змінюється незначно. Для кожного виділе-

ного проміжку  $\Delta t_i$  можна скласти розклад роботи світлофорів.

Очевидно, що мінімальне число тактів роботи світлофорів визначається необхідністю пропуску трафіку з незалежних шляхів проїзду через перехрестя. Тривалість роботи одного такту визначається величиною потоку машин, яким надано дозвіл на проїзд за даний такт.

Сформулюємо постановку задачі управління світлофором. Безлічі всіх дуг  $\{u^j\}$ ,  $i = 1, \dots, n_j$  заданого перехрестя  $u_j$  можна порівняти  $n_j$  – вершини деякого графа.

$G = (U, R)$ . Дві вершини  $u^k$  та  $u^l$  суміжні в  $G$ , якщо суміжні відповідні їм дуги в орграфі  $P_j = (X, U)$  перехрестя  $u_j$ .

Очевидно, що в графі  $P_j$  будь-якого порожнього підграфа  $P_i^k$  відповідає незалежна безліч потоків. У такому разі така підмножина може бути максимальною. Сімейство  $\{P_i^k\}$  порожніх підграфів, де  $\bigcup_k P_i^k = P_i$ , визначає розклад роботи світлофорів, якщо поряд із відкриттям смуг для руху визначена тривалість роботи кожного такту світлофора.

Введемо такі позначення:  $X_i^j = (x_1^j, x_2^j, \dots, x_k^j)$  – підмножина вершин у  $X$ , таких, що підграф  $P_j = (X_j, U_j)$  є порожнім, тобто  $u^j = 0$ ;  $V(X_i^j)$  – вага вершини  $x_i^j$ ;  $b_j = \max V(X_i^j)$ . Тоді цільова функція задачі має вигляд  $\Psi = \sum b_j \rightarrow \min$  за умови  $\bigcup_{i,j} X_i^j = X$ .

Отже, сімейство  $\bigcup_{i=1}^k$  підграфів  $P = \{P^j\}$  покриває всі

Таблиця 2  
Рівень викидів на досліджуваних відрізках маршруту мг/м<sup>3</sup>

Токсичні речовини	Перший відрізок маршруту	Другий відрізок маршруту
CO <sub>2</sub>	10,627	7,534
Pb <sub>2</sub> O	1,7	1,23
Пил	0,15	0,135
C <sub>2</sub> OH <sub>12</sub>	15,3	12,75
SO <sub>2</sub>	0,01	0,008

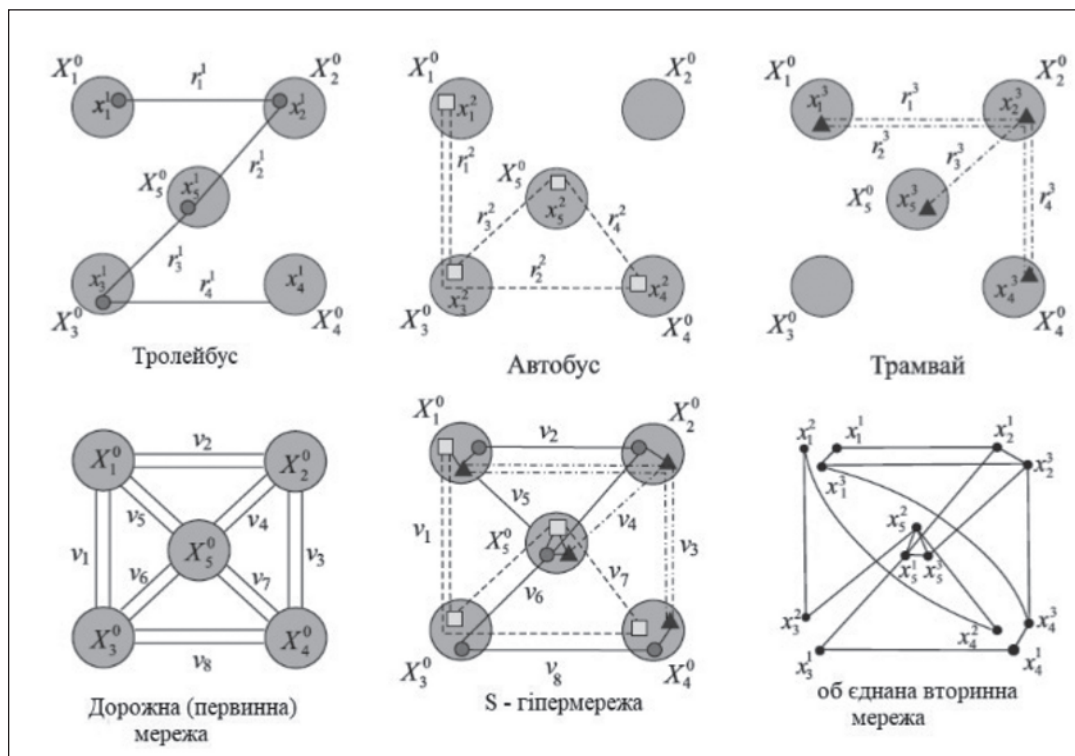


Рис. 4. Приклад об'єднання (підсумовування) всіх вторинних мереж S-гіпермережі  $H = (G_0 (G_1, G_2, G_3))$  [10]

вершини графа  $G$  і не містить жодного ребра  $zb$ , тобто  $R \cap G$ . Очевидно, що деякий розклад роботи світлофора виходить із рішення  $\Psi$  так. Для кожної підмножини незалежних смуг, відповідних  $P^j$ , час роботи на  $j$ -м такті визначається виразом

$$\Delta t^j = \frac{T}{\sum_j b^j} b_j, \quad (1)$$

де  $T$  – циклічний період роботи світлофора.

**Висновки.** Сучасні методичні й інструментальні підходи до проектування систем ухвалення рішення ґрунтуються на реалізації багатоетапних процедур аналізу особливостей об'єкта. Порівняльний аналіз стратегій показав, що найперспективнішим для досяг-

нення підвищення екологічної безпеки на транспорті у великому індустріальному центрі є перетворення міської системи на гіпермережу фізичного простору на базі алгоритмів імітаційного моделювання.

У такому разі математична модель максимально об'єднує всі чинники, що впливають на вигляд і функціонування транспортної системи. У процесі проведених досліджень було виявлено, що суттєвий екологічного ефекту можна досягти за допомогою зменшення кількості заторів на світлофорах. Тому запропоновано застосування методів імітаційного моделювання за допомогою адаптації теорії гіпермереж до транспортних процесів.

#### Список літератури:

1. Губенко В.К., Лямзин А.А., Украинский Е.А. Безопасность дорожного движения в системе городской логистики. Безопасность дорожного ruchu: правові та організаційні аспекти: доповідь на VI Міжнародній науково-практичній конференції, 2011 р. Д., 2011. С. 178–180.
2. Нефедова Я.И., Лямзин А.А., Меацакарян М.С. Формирование рациональных маршрутов движения транспортных средств в условиях индустриального центра. Наукові вісті Давіського університету. 2012. № 7. URL: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012\\_7/12nyiuic.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012_7/12nyiuic.pdf).
3. Нефедова Я.И., Лямзин А.А., Меацакарян М.С. Управление транспортными потоками индустриальных центров Донецкого региона. Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2012. № 1. С. 19–23.
4. Алексеев Н.Т. Автотранспортные потоки и окружающая среда. М.: Транспорт, 1999. 84 с.
5. Голубев И.Р., Новиков Ю.Р. Окружающая среда и транспорт. М.: Транспорт, 1987. 207 с.
6. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: тезисы IXVI Международной научно-практической конференции. Д.: ДИИТ, 2006. 442 с.
7. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М., 2007. 284 с.
8. Нефёдова Я.И. Логистическое управление транспортным обслуживанием системы «металлургическое предприятие – порт» в реальном режиме времени: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Х., 2010. 155 с.
9. Попков В.К., Соколова О.Д., Юргенсон А.Н. Максимальный поток и минимальный разрез в гиперсетях: материалы 9-й между. конф. ПФИС – 2006. Новосибирск. С. 242–246.
10. Попков В.К. Математические модели и методы оптимизации городских транспортных систем: Материалы 2-й Всерос. конф. «Проблемы оптимизации и экономические приложения», Омск, 29 июня – 4 июля 2009 г. Омск: Б. и., 2009. С. 80–81.

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*В статье проведен анализ функционирования транспортной сети крупного индустриального центра, который показал, что многие структуры, обеспечивающие функционирование транспортно-дорожного комплекса, требуют реальных данных о фактическом состоянии загрузки городских магистралей при планировании, реконструкции и управлении дорожным движением. Сравнительный анализ стратегий показал, что самой перспективной стратегией является превращение городской системы в S-гиперсеть физического пространства на базе алгоритмов информационного программирования. Одной из задач, которая может быть решена основываясь на этой теории, является управление светофорами на перекрестках любой конфигурации. Этот механизм позволит сократить время простоя автомобилей на перекрестках, тем самым уменьшив экологическую нагрузку на этих отрезках маршрута.*

**Ключевые слова:** транспортное средство, дорожные условия, маршрут, гиперсеть, светофорное регулирование, индустриальный центр, экологическая безопасность.

### ECOLOGICAL SAFETY OF TRANSPORT SYSTEMS OF THE INDUSTRIAL CENTER BASED ON THE METHODS OF IMITATION MODELING

*The article analyzes the functioning of the transport network of a large industrial center, which showed that many structures providing the functioning of the transport complex require real data on the actual state of loading of city highways in the planning, reconstruction and management of traffic. A comparative analysis of strategies has shown that the most promising strategy is to turn the city system into a S-hyperlink of the physical space based on information programming algorithms. One of the tasks that can be solved based on this theory is the control of traffic lights at the crossroads of any configuration. This mechanism will reduce the downtime of cars at intersections, thereby reducing the environmental load on these sections of the route.*

**Key words:** vehicle, road conditions, route, hyper-network, traffic light control, industrial center, ecological safety.

УДК 62.5;519.1

**Невлюдов І.Ш.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Хрустальов К.Л.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Функендорф А.О.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ РОБОТІВ ІЗ КОНСТРУКЦІЄЮ МОДУЛЬНОГО ТИПУ

*Розглянута проблема автоматизації керування технологічними процесами складання модульних конструкцій із погляду формалізації його елементів. Запропоновано структурно-функціональну та загальну математичну модель технологічного процесу складання роботів із конструкцією модульного типу, а також його елементів, згідно з їх функціональним призначенням, графі слідування виконання процесу. Приведено модель узгодженості елементів об'єкта складання у цілісній конструкції.*

**Ключові слова:** модульна конструкція, технологічний процес складання, адаптивне керування, функціональні елементи, параметрична модель, математична модель, граф слідування.

**Постановка проблеми.** В умовах прагнення до типізації та уніфікації, спрощення процесів виробництва роботів різноманітного призначення все більшої актуальності набуває модульний підхід до реалізації їх конструкцій. Диспропорція в удосконаленні та автоматизації технологічних процесів складання роботів із конструкцією зазначеного типу є результатом найменшого заміщення ручної праці за рахунок їх найменшої автоматизації, внаслідок чого вони займають непропорційно велику питому вагу в загальній структурі трудомісткості виготовлення, що сягає 70% від загального об'єму виробництва.

Автоматизація технологічних процесів складання роботів із зазначеною конструкцією в умовах гнучких виробництв потребує урахування її можливості ще на етапах конструювання та проектування самого процесу [1]. Вона полягає в автоматизації окремих операцій та переходів, що входять до його складу та забезпечують узгодженість елементів конструкції у цілісній системі приладу, за рахунок отримання здебільшого міжмодульних роз'ємних з'єднань та операцій контролю. Це уможливорює використання великої процентної долі автоматизованого універсального обладнання щодо загального технічного забезпечення

виконання зазначених технологічних процесів та, як наслідок, досягнення гнучкості організації відповідної виробничої ділянки та можливості реалізації складальних процесів в умовах безлюдних виробництв.

Тенденція прагнення до інтелектуалізації виконавчого обладнання є основою застосування адаптивних алгоритмів, що в умовах уніфікації конструкцій об'єктів складання та їх елементів дозволяє оптимізувати ефективність процесів складання за параметрами швидкодії (в т. ч. і їх проектування, а також переналагодження виконавчого обладнання), витратами коштів на їх реалізацію за рахунок підвищення їх гнучкості. Однак застосування адаптивних алгоритмів потребує найбільш повної формалізації елементів виконавчого обладнання та об'єкта складання, яким у заданих умовах є модульна конструкція робота. Формалізація виконавчого обладнання здебільшого базується на його функціональних характеристиках. Найбільш поширений підхід до формалізації об'єктів складання полягає у застосуванні графічних двовимірних та тривимірних моделей у якості моделей формалізації, що є недостатнім для найбільш повного опису об'єктів та потребує складних алгоритмів [2] для обробки даних, а

також застосування дорогого програмного забезпечення для їх реалізації.

**Постановка проблеми.** В умовах прагнення до типізації та уніфікації, спрощення процесів виробництва роботів різноманітного призначення все більшої актуальності набуває модульний підхід до реалізації їх конструкцій. Диспропорція в удосконаленні та автоматизації технологічних процесів складання роботів із конструкцією зазначеного типу є результатом найменшого заміщення ручної праці за рахунок їх найменшої автоматизації, внаслідок чого вони займають непропорційно велику питому вагу в загальній структурі трудомісткості виготовлення, що сягає 70% від загального об'єму виробництва.

Автоматизація технологічних процесів складання роботів із зазначеною конструкцією в умовах гнучких виробництв потребує урахування її можливості ще на етапах конструювання та проектування самого процесу [1]. Вона полягає в автоматизації окремих операцій та переходів, що входять до його складу та забезпечують узгодженість елементів конструкції у цілісній системі приладу, за рахунок отримання здебільшого міжмодульних роз'ємних з'єднань та операцій контролю. Це уможливує використання великої процентної долі автоматизованого універсального обладнання щодо загального технічного забезпечення виконання зазначених технологічних процесів та, як наслідок, досягнення гнучкості організації відповідної виробничої ділянки та можливості реалізації складальних процесів в умовах безлюдних виробництв.

Тенденція прагнення до інтелектуалізації виконавчого обладнання є основою застосування адаптивних алгоритмів, що в умовах уніфікації конструкцій об'єктів складання та їх елементів дозволяє оптимізувати ефективність процесів складання за параметрами швидкодії (в т. ч. і їх проектування, а також переналадження виконавчого обладнання), витратами коштів на їх реалізацію за рахунок підвищення їх гнучкості. Однак застосування адаптивних алгоритмів потребує найбільш повної формалізації елементів виконавчого обладнання та об'єкта складання, яким у заданих умовах є модульна конструкція робота. Формалізація виконавчого обладнання здебільшого базується на його функціональних характеристиках. Найбільш поширений підхід до формалізації об'єктів складання полягає у застосуванні графічних двовимірних та тривимірних моделей у якості моделей формалізації, що є недостатнім для найбільш повного опису об'єктів та потре-

бує складних алгоритмів [2] для обробки даних, а також застосування дорогого програмного забезпечення для їх реалізації.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка нових математичних моделей технологічного процесу складання роботів із конструкцією модульного типу, а також його елементів, згідно з їх функціональним призначенням, для подальшої автоматизації процесів їх складання із застосуванням адаптивних алгоритмів керування в рамках типізації та уніфікації конструкцій.

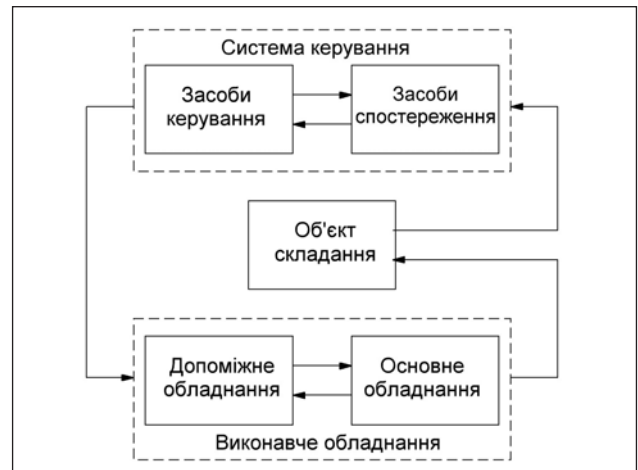
**Виклад основного матеріалу дослідження.**

1. Структурно-функціональна модель технологічного процесу складання

Технологічний процес складання приладів із модульною конструкцією є складною системою та з погляду функціонального призначення є сукупністю таких елементів:

- об'єкт складання;
- виконавче обладнання (основне та допоміжне);
- система керування, що містить засоби спостереження (у разі реалізації адаптивних алгоритмів керування) та її виконавчі елементи (засоби керування).

Функціональні зв'язки між зазначеними елементами процесів приведені на рис. 1.



**Рис. 1. Структурно-функціональна схема технологічного процесу складання**

Під об'єктом складання розуміється конструкція робота, що складається, у її поточних станах, які змінюються з часом протягом виконання процесу під впливом виконавчого обладнання. Контроль за поточним станом конструкції реалізується за допомогою засобів спостереження (в умовах адаптивного керування процесом), дані з яких надходять на виконавчі засоби системи керування, згідно з чим генерується керуючий вплив

відповідно до алгоритмічного забезпечення системи, який надходить на елементи виконавчого обладнання та засоби спостереження (в окремих випадках).

Основне виконавче обладнання, яке застосовується для реалізації вказаних процесів в умовах їх повної автоматизації, – промислові роботи та спеціалізоване обладнання, що забезпечує реалізацію нероз’ємних внутрішньомодульних з’єднань (за необхідності їх реалізації у процесі загального складання конструкції). Відповідно до керуючих впливів, що надходять на виконавчі елементи обладнання, реалізується зміна стану конструкції об’єкта складання за умов узгодженості роботи допоміжного та основного обладнання виробничої ділянки.

Технологічний процес складання роботів із модульною конструкцією  $M_{Tti}$  з погляду функціональних елементів, що входять до його складу, може мати таке математичне представлення, відображене параметричним описом кожного елемента у відповідний момент часу  $t_i$ :

$$M_{Tti} = \{ M_{OSi}, M_{VOi}, M_{ZSi}, M_{SKi} \}, \quad (1)$$

де  $M_{OSi}$  – параметри об’єкта складання, що описують стан модульної конструкції робота у момент часу  $t_i$ ;

$M_{VOi}$  – параметри виконавчого обладнання, що описують його стан у момент часу  $t_i$ ;

$M_{ZSi}$  – параметри засобів спостереження, що описують їх стан у момент часу  $t_i$ ;

$M_{SKi}$  – параметри системи керування у відповідний проміжок часу  $t_i$ .

Таким чином, структурно-параметрична модель технологічного процесу складання, представлена в узагальненому вигляді виразом (1), є сукупністю параметричних описів її елементів у зазначений проміжок часу.

## 2. Формалізація елементів структурно-функціональної моделі

Формалізація елементів структурно-функціональної моделі технологічного процесу складання роботів із конструкцією модульного типу може бути виконано шляхом розробки відповідних математичних та параметричних моделей. Математична модель робота з конструкцією модульного типу як об’єкта складання є відображенням його параметричної моделі  $M_{par OS}$ , що є сукупністю параметричних описів його структурних елементів та зв’язків між ними:

$$M_{OS} = \{ M_{par OS}, R \}, \quad (2)$$

де  $R$  – показник взаємозв’язків модулів у цілісній конструкції робота.

Параметрична модель загальної структури модульного робота є сумісністю кортежів параметрів, що відповідають окремим параметричним моделям кожної зі складових частин функціональних модулів, до яких також входять параметри з’єднань, функціональні, експлуатаційні та конструктивні параметри, які відповідають характерним особливостям, згідно з наведеною класифікацією роботів за типом виконуваних робіт.

Математичне зображення параметричної моделі конструкції роботів, засноване на теорії множин, у розумінні їх як цілісної системи є множинами параметрів кожного з модулів, які входять до загальної множини параметрів, що описує загальну конструкцію робота [3]:

$$M_{par OS} \supset \{ P, S, M, K, IK, SP \} \quad (3)$$

де  $P$  – множина параметрів модуля переміщення;

$S$  – множина параметрів сенсорного модуля;

$M$  – множина параметрів маніпуляційного модуля;

$K$  – множина параметрів корпусного модуля;

$IK$  – множина параметрів інформаційно-керуючого модуля;

$SP$  – множина параметрів модуля зв’язку з людиною.

Кожен зі структурних функціональних модулів конструкції сучасного робота може бути описаний множиною параметрів, які є характерними для відповідного модуля чи можуть бути притаманними кожному з модулів, незалежно від його функціонального призначення або особливостей загальної конструкції. Таким чином, у рамках цієї роботи було прийнято рішення розподілити всі параметри, притаманні структурним модулям конструкції роботів, на загальні, притаманні кожному з них, та специфічні, які характерні для відповідного модуля та описують його функціональні та структурні особливості:

$$M_{par i} \supset \{ P_{Zi}, P_{Si}, Z_i \}, \quad (4)$$

де  $M_{par i}$  – параметрична модель  $i$ -го модуля конструкції;

$P_{Zi}$  – множина загальних параметрів  $i$ -го модуля;

$P_{Si}$  – множина специфічних параметрів  $i$ -го модуля;

$Z_i$  – множина параметрів з’єднань  $i$ -го модуля.

Специфічні параметри модуля характеризуються його особливостями та функціональним призначенням [4].

Множина загальних параметрів може бути представлена сукупністю підмножин експлуата-

ційних параметрів, масогабаритних та економічних параметрів:

$$P_{Zi} \supset \left( \begin{array}{l} P_{\text{exp}i} \supset \{N_i, \text{Sec}_i, G_i, \text{Mech}_i, \text{Rad}_i, \text{Enc}S_i, \text{Op}S_i\}, \\ \{a_{i\text{max}}, l_{i\text{max}}, h_{i\text{max}}, V_i, p_i\} \in P_{MGi}, \\ \{Pr_i, D_{EXi}\} \in P_{EXi}. \end{array} \right), \quad (5)$$

де  $P_{\text{exp}i}$  – множина експлуатаційних параметрів  $i$ -го модуля, що поділяються на параметри надійності  $N_i$ , параметри захищеності  $\text{Sec}_i$ , параметри живлення  $G_i$ , механічні  $\text{Mech}_i$  та радіаційні  $\text{Rad}_i$  експлуатаційні параметри, а також кліматичні, що відповідають експлуатації робота у закритих приміщеннях  $\text{Enc}S_i$  чи на відкритому просторі  $\text{Op}S_i$  відповідного модуля;

$P_{MGi}$  – множина масогабаритних параметрів  $i$ -го модуля, які включають у себе максимальні значення параметрів ширини  $a_{i\text{max}}$ , довжини  $l_{i\text{max}}$ , висоти  $h_{i\text{max}}$  та значення загального об'єму  $V_i$  і ваги  $p_i$  відповідного модуля;

$P_{EXi}$  – множина економічних параметрів  $i$ -го модуля, що включає у себе значення закупівельної вартості  $Pr_i$  та додаткових витрат  $D_{EXi}$  на транспортування, пакування, оподаткування тощо відповідного модуля.

В окремих випадках належність деяких параметрів конкретній конструкції може характеризуватися обмеженнями, що накладаються на належність конструкції деяких інших параметрів. Такі обмеження можуть виникати як у рамках одного модуля, так і в декількох окремих, притаманних одній конструкції. Математичний опис обмеження, вираженого у притаманності параметра  $Par_k$  множині параметрів модуля  $M_i$  за умови належності параметра  $Par_j$  множині параметрів загальної конструкції робота, із застосуванням теорії множин може бути описано таким чином:

$$Par_j \in M_{\text{parOS}} \rightarrow Par_k \in M_i. \quad (6)$$

Відповідне обмеження, що накладає вилучення параметра  $Par_k$  із множини параметрів модуля  $M_i$  за умови належності параметра  $Par_j$  загальній конструкції робота має такий вигляд:

$$Par_j \in M_{\text{parOS}} \rightarrow Par_k \notin M_i. \quad (7)$$

Цей принцип обмежень є справедливим також і для окремих підмножин параметрів, у разі вилучення їх із загальної множини параметрів конструкції. Параметричні обмеження описаного характеру виникають здебільшого за умови належності загальній конструкції окремих специфічних параметрів модулів чи кліматичних параметрів, що входять до множини експлуатаційних параметрів.

Поєднання структурних функціональних модулів у цілісну конструкцію робота забезпечується

шляхом реалізації відповідних з'єднань між ними. У рамках даної роботи було прийняте рішення розділити можливі міжмодульні з'єднання на з'єднання механічного та електричного типів відповідно до їх функціонального призначення:

$$Z_i \supset \left( \begin{array}{l} MZ_i \supset \{MZR_i, MZP_i\}, \\ EIZ_i \supset \{EIZP_i, EIZUSB_i\}. \end{array} \right), \quad (8)$$

де  $MZ_i$  – множина механічних параметрів з'єднань  $i$ -того модуля, що характеризується параметрами різьбових з'єднань та з'єднань пазового типу  $MZP_i$ ;

$EIZ_i$  – множина електричних параметрів з'єднань  $i$ -того модуля, що характеризується параметрами штирьових  $EIZP_i$  з'єднань та з'єднань із роз'ємами типу USB  $EIZUSB_i$ .

Модульна конструкція робота може розглядатися як цілісна система, що потребує певної узгодженості між собою елементів, які входять до її складу. Основними взаємозв'язками між модулями, з погляду керування складальними процесами, є забезпечення узгодженості між ними шляхом забезпечення узгодженості між параметрами з'єднань відповідних модулів конструкції. Відповідно до цього, узгодженість між  $i$ -тим та  $j$ -тим модулями у цілісній конструкції шляхом забезпечення узгодженості між їх з'єднаннями відповідних типів в узагальненому вигляді може бути представлена таким виразом:

$$R_{i,j} = \begin{cases} MZ_{i,j} : MZ_{j,i}, \\ EIZ_{i,j} : EIZ_{j,i}. \end{cases} \quad (9)$$

де  $i$  та  $j$  – модуль що з'єднується та модуль, із яким реалізується з'єднання відповідно.

Значення показника узгодженості  $R \rightarrow 1$ , тобто в ідеальних умовах кількість механічних та електричних з'єднань, призначених для поєднання у цілісній конструкції відповідних модулів, збігаються, що передбачає також аналогічні відносини між їх параметрами згідно з виразами (8) та (9). У випадках, коли  $R > 1$ , можна зробити висновок, що конструкція є достатньо гнучкою та за рахунок незадіяних роз'ємів, притаманних окремим модулям, може бути модернізована шляхом заміни деяких модулів чи додаванням нових. Якщо  $R < 1$ , то структурні функціональні модулі є несумісними, на етапі конструювання робота була допущена помилка, відповідно, подальша реалізація технологічного процесу складання є недоцільною.

Розглядаючи виконавче обладнання, що може бути задіяне у реалізації процесів складання модульних роботів, його формалізація також може бути зведена до розробки відповідних математичних та параметричних моделей. Елементами



такого обладнання в умовах повної автоматизації процесу можуть виступати окремі одиниці промислових роботів, конвеєри (здебільшого стрічкового типу), автоматичні склади, роботизовані візки різноманітних типів та ємності, накопичувачі та інші елементи автоматичних транспортно-накопичувальних систем [5]. Кожна з окремих одиниць обладнання  $VO$ , що використовується для реалізації зазначеного процесу, може бути описана динамічною моделлю параметрів, значення яких може змінюватися упродовж часу його протікання:

$$M_{VO} = \{VO_1, VO_2, \dots, VO_n\}, \quad (10)$$

де  $n$  – кількість одиниць виконавчого обладнання, що задіяне у реалізації відповідного технологічного процесу складання.

Кожна з множин елементів сукупності виконавчого обладнання може бути описана відповідними множинами специфічних та загальних параметрів (аналогічно виразу (5)).

Засоби керування  $ZK$  та спостереження  $ZS$ , що входять до складу системи керування, при реалізації технологічних процесів складання роботів із модульною конструкцією можуть бути представлені різноманітними обчислювальними елементами (комп'ютери, програмовані логічні контролери) та системами технічного зору, датчиками різноманітних типів, що у комплексі з програмними засобами керування реалізують складну систему адаптивного керування процесом. Сукупність конструктивних, експлуатаційних, а також функціональних параметрів елементів системи керування  $M_{SK}$ , що спричинені умовами відповідної виробничої ділянки та виробництва взагалі, може бути описана як сукупність параметрів кожного з елементів системи керування, які також можуть бути розподілені на множини загальних та специфічних параметрів:

$$M_{SK} = (\{ZK_1, ZK_2, \dots, ZK_n\} \wedge \{ZS_1, ZS_2, \dots, ZS_m\}). \quad (11)$$

В умовах невизначеності конкретних параметрів елементів керування в узагальненому вигляді систему керування технологічним процесом складання можливо реалізувати за допомогою моделі типу «чорна скриня» (рис. 2). Моделі такого типу дозволяють розглядати систему взагалі, без урахування її елементів, та визначати її реакції на умови, що змінюються, з урахуванням її обмежень.

Математичний опис моделі складається з опису границь, які встановлюються можливостями системи, її програмного та технічного забезпечення. Моделі такого типу характеризуються вхідними сигналами  $X$ , що можуть бути задані програмно

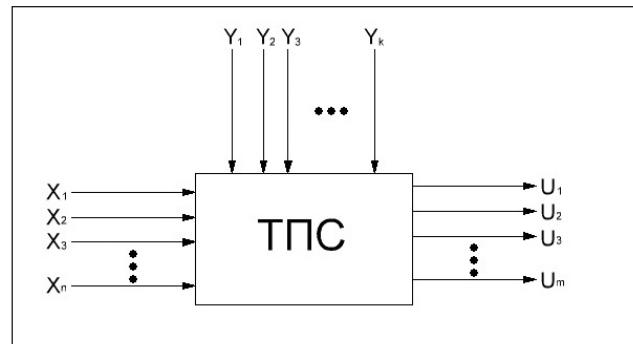
та розглядатися як задані керуючі впливи, та сигналами з датчиків; випадковими зовнішніми збуреннями  $Y$ , що обумовлені здебільшого випадковими змінами умов навколишнього середовища (характерно для рухливих процесів складання), збоями та різноманітними погрішностями роботи обладнання та засобів спостереження, що характеризується відповідними значеннями їх динамічних параметрів; результуючими керуючими сигналами  $U$ , що надходять на виконавче обладнання та забезпечують режими технологічних параметрів процесу:

$$M_{ТПС} = \begin{cases} X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}; \\ U = \{U_1, U_2, U_3, \dots, U_m\}; \\ Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_k\}. \end{cases} \quad (12)$$

де  $n$  – кількість вхідних сигналів  $X$ ;

$m$  – кількість результуючих керуючих сигналів  $U$ ;

$k$  – кількість випадкових збурень  $Y$ .



ТПС – технологічний процес складання

Рис. 2. Модель системи керування технологічним процесом складання типу «чорна скриня»

### 3. Математична модель технологічного процесу складання

Математична модель технологічного процесу складання роботів із конструкцією модульного типу, згідно із розробленою структурно-функціональною моделлю та моделями формалізації її елементів, містить властивості самого об'єкта складання, виконавчого обладнання та засобів керування, що можуть бути представлені відповідними параметричними описами. В узагальненому вигляді вона відповідає поточній зміні стану об'єкта складання (конструкції робота) від залучення першого модуля до кінцевого завершення складання шляхом реалізації міжмодульних з'єднань:

$$T \xrightarrow{w_1} S_1 \xrightarrow{w_2} \dots \xrightarrow{w_{n-1}} S_{n-1} \xrightarrow{w_n} P, \quad (13)$$

де  $T$  – початковий стан виробничої ділянки, що відповідає готовності виконавчого обладнання до початку реалізації процесу;

$S_1 \dots S_{n-1}$  – поточні стани об'єкта складання, що забезпечуються виконанням відповідних технологічних операцій;

$\Pi$  – кінцевий стан об'єкта складання, що відповідає технічному завданню на виріб ( $S \rightarrow (S_n = \Theta)$ ).

$W_1 \dots W_n$  – шляхи досягнення відповідного стану об'єкта складання.

Початковий стан Гавтоматизованої виробничої ділянки характеризується станом виробничого обладнання та засобів керування, що відповідає необхідним вимогам для виконання складальних операцій зазначеної конструкції та може бути представлений відповідним параметричними описами, що містять у собі відображення значень динамічних параметрів  $P_{D_i}$ , які входять до множини специфічних параметрів елементів виконавчого обладнання  $P_{svO}$ , та системи керування  $P_{sSK}$ , за умови досягнення ними необхідних для початку реалізації процесу значень у момент часу  $t_i$ :

$$T = (P_{D_i} \subset \{P_{svO_i}, P_{sSK_i}, \dots\}). \quad (14)$$

Поточні стани об'єкта складання  $S_1 \dots S_{n-1}$  характеризуються параметрами, належними відповідним складовим модулям, які є встановленими у загальній конструкції приладу та можуть бути записані у вигляді параметричної моделі, що відповідає зазначеному стану конструкції. Таким чином, стан конструкції робота, що відповідає кінцевому етапу складання, характеризується параметричними описами модулів, що входять до його складу на момент часу  $t_i$ :

$$\Theta = S_n = (M_{par OS_i} \supset \{P_i, S_i, M_i, K_i, IK_i, SP_i\}). \quad (15)$$

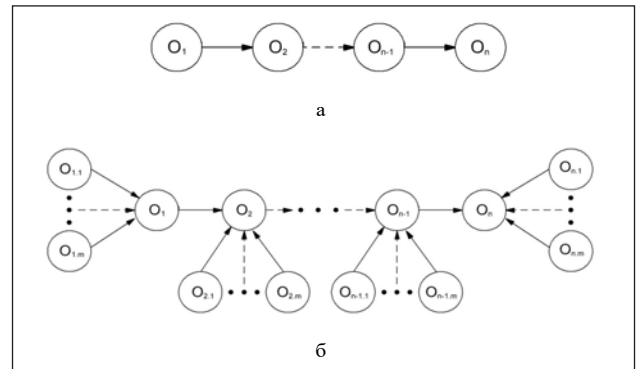
Вираз (14) є справедливим для включення до складу загальної конструкції робота модулів кожного з розглянутих типів.

Шляхи досягнення відповідного стану об'єкта складання  $W_1 \dots W_n$  характеризуються динамічними параметрами стану обладнання та його переміщенням відповідно до керуючих впливів системи керування, адаптованих до отриманих показань із засобів спостереження та контролю, протягом часу  $t_i$ , що відповідають реалізації зазначеної технологічної операції та забезпеченню технологічних параметрів процесу:

$$W_i(U) = (P_{D_i} \subset P_{svO_i}). \quad (16)$$

Встановлення одного модуля до цілісної конструкції виробу може характеризуватися виконанням однієї загальної технологічної операції, що має ієрархічну структуру та включає у себе основні та загальні технологічні операції та переходи. Технологічний процес складання роботів із конструкцією модульного типу на операційному рівні, за наявності функціональних складових

модулів кожного з розглянутих типів та їх цілісності у загальній конструкції кінцевого виробу, характеризується послідовним складанням, що, згідно з виразом (12), може бути відображено за допомогою графа слідування лінійного типу (рис. 3, а). У разі представлення модуля одного типу декількома елементами процес складання характеризується послідовно-паралельним виконанням та може бути представлений графом слідування типу «дерево» (рис. 3, б).



а – граф слідування лінійного типу;  
б – граф слідування типу «дерево»

Рис. 3. Графи слідування

Технологічні операції  $O$  (послідовність виконання яких наведена на графах, характеризується досягненням відповідного для цієї операції стану об'єкта складання  $S$  шляхом  $W$ ) представлені вершинами графів, а дуги фіксують відносини між ними.

**Висновки.** Підвищення ефективності застосування адаптивних алгоритмів під час керування технологічними процесами складання роботів із конструкцією модульного типу може бути досягнуто шляхом розробки відповідного інформаційного забезпечення, що базується на математичному та параметричному описі елементів процесу. Наведені в роботі моделі формалізації таких елементів процесу, згідно з його розробленою структурно-функціональною моделлю, а саме модульної конструкції робота як об'єкта складання, елементів виконавчого обладнання, а також елементів керування, мають найбільш повний параметричний опис, що відповідає вимогам адекватності моделей такого типу та уможливають подальшу розробку моделі системи керування технологічними процесами складання з урахуванням їх оптимізації за показниками спрощення алгоритмів функціонування вказаних систем. На основі запропонованої моделі узгодженості структурних функціональних модулів у цілісній системі конструкції можлива реалізація додаткової опера-

ції вхідного контролю, що не потребує витрат на відповідне технічне забезпечення, що дозволить оптимізувати технологічний процес складання за показниками підвищення якості кінцевих виробів без значного підвищення витрат на його організацію. Приведені графи слідування, засновані на розроблених математичних моделях технологічного процесу та описі його елементів, відображають послідовність виконання процесу складання з урахуванням встановлення елементів з'єднань,

що поєднують структурні функціональні модулі конструкції у цілісну систему роботи. Запропоновані графи можуть бути адаптовані для різних відображень конструкцій зазначеного типу та відповідають схемам складання з базовою деталлю, що, у сукупності з картами з'єднань, є основними та достатніми технологічними документами, необхідними для реалізації технологічних процесів складання роботів із конструкцією модульного типу.

### Список літератури:

1. Bikas Ch., Argyrou A., Pintzos G., Giannoulis Ch., Sipsas K., Papakostas N., Chryssolouris G. An Automated Assembly Process Planning System. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS): Published by Elsevier B.V. (Gothenburg, Sweden, May 16–17th 2016). Gothenburg, 2016. P. 222–227.
2. Michniewicz J., Reinhart G., Boschert S. CAD-based automated assembly planning for variable products in modular production systems. 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS): Published by Elsevier B.V. (Gothenburg, Sweden, May 16–17th 2016). Gothenburg, 2016. P. 44–49.
3. Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Функендорф А.О., Разумов-Фризюк Є.А. Моделі формалізації вирішення задач автоматизації проектування конструкції роботів з модульною структурою. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. «Системи управління, навігації та зв'язку». 2017. № 2 (42). С. 36–38.
4. Невлюдов І.Ш., Евсеев В.В., Функендорф А.О., Кушлак А.А. Разработка математической модели параметров принадлежности модулей робототехнических средств для автоматизации проектирования технологического процесса сборки. Технология приборостроения. 2015. № 2. С. 20–23.
5. Невлюдов, І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: підручник. Кривий Ріг, 2017. 444 с.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ РОБОТОВ С КОНСТРУКЦИЕЙ МОДУЛЬНОГО ТИПА

*Рассмотрена проблема автоматизации управления технологическими процессами сборки конструкций с точки зрения формализации его элементов. Предложено структурно-функциональную и общую математическую модель технологического процесса сборки роботов с конструкцией модульного типа, а также его элементов, в соответствии с их функциональным назначением, графы следования выполнения процесса. Приведено модель согласованности элементов объекта сборки в целостной конструкции.*

**Ключевые слова:** модульная конструкция, технологический процесс сборки, адаптивное управление, функциональные элементы, математическая модель, граф следования.

### MATHEMATICAL MODEL OF ROBOTS WITH MODULAR TYPE CONSTRUCTION COMPOSITION TECHNOLOGICAL PROCESS

*The problem of control by technological processes of assembly of modular constructions from the point of view of formalization of its elements is considered. Control of technological processes of modular constructions problem from the point of view formalization its elements is considered. The structural-functional and general mathematical model of the technological process of assembling robots with a modular type design, as well as its elements, according to their functional purpose, execution graphs, is proposed. The consistency model of the assembly elements object in the integral design is given.*

**Key words:** modular constructions, assembly technological processes, adaptive control, functional elements, parametric model, mathematical model, execution graphs.

УДК 519.872: 519.67

**Невлюдов І.Ш.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Пономарьова Г.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Бортнікова В.О.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

*Запропонована імітаційна модель технологічного процесу виготовлення мікроелектромеханічних акселерометрів. Модель дозволяє отримати динамічні характеристики процесу й оптимізувати операції для підвищення ефективності технологічного процесу. Проведено імітаційне моделювання, яке показало працездатність побудованої моделі.*

**Ключові слова:** МЕМСС акселерометр, технологічний процес, імітаційне моделювання, Q-схема, система масового обслуговування.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції виробництва ґрунтуються на впровадженні нових рішень і технологій Industry 4.0, IoT, хмарних сервісів тощо [1–4]. Застосування таких підходів на підприємстві обумовлено тим, що вони дозволяють використовувати великі обчислювальні ресурси, гнучкість, швидке нарощування ресурсів і їх збільшення за необхідності. Важливу роль у технології Industry 4.0 відіграють сучасні технічні засоби автоматизації (сенсори, виконавчі пристрої, регулятори тощо), які повинні забезпечувати необхідний рівень точності, параметри швидкодії, малі масогабаритні характеристики, високу функціональність, низьке енергоспоживання та вартість. У зв'язку із цим широко застосовуються датчики, які виготовлені з використанням мікроелектромеханічних систем (далі – МЕМС).

Мікроелектромеханічні (далі – МЕМС) акселерометри є складовою частиною багатьох засобів автоматизації та вирішують широкий спектр задач. Сучасні наукові дослідження спрямовані на моделювання та розроблення нових конструкцій МЕМС акселерометрів для ефективного використання їхніх фізичних властивостей, що пов'язано з особливостями конструкції чутливого елемента та готового датчика. Розроблення нових МЕМС акселерометрів і технологія їх виробництва пов'язані зі складною науково-

технічною задачею розроблення технологічного процесу виготовлення з урахуванням вимог забезпечення геометричних і функціональних параметрів. Технологія виготовлення МЕМС акселерометрів поєднує в собі сучасні технологічні прийоми мікроелектроніки, що створює безліч варіантів технологічних процесів (далі – ТП) та їх послідовностей. У ситуації, що склалася, необхідні нові підходи до створення систем автоматизованого проектування (далі – САПР), які задовольняють зростаючі потреби синтезу оптимальних і ефективних ТП. В умовах такого розвитку наявні підходи до автоматизації проектування ТП виготовлення МЕМС акселерометрів повинні враховувати вимоги стандартів Industry 4.0, передбачати можливість зворотного зв'язку між різними частинами підприємства, з великого потоку даних отримувати необхідну і достатню інформацію для оперативного адаптування роботи систем автоматизованого проектування до виробничих умов.

Завдання дослідження та побудови імітаційної моделі технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів актуальне, оскільки сьогодні особливого значення набувають такі питання: як автоматизувати синтез ТП з урахуванням техніко-технологічної бази підприємства; як будуть працювати всі підсистеми в комплексі залежно від зміни навантаження тощо. Імітаційне

моделювання дозволить відстежити динаміку ТП, врахувати вихідну інформацію і складність реалізації ТП, а також отримати динамічні характеристики процесу.

**Постановка завдання.** Будь-який ТП виготовлення MEMC акселерометрів являє собою систему з безліччю послідовно-паралельних операцій. У даному разі є кінцева множина видів MEMC акселерометрів  $\Theta = \{\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n\}$  і кінцева множина технологічного обладнання  $\Xi = \{\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_n\}$ , що забезпечує реалізацію ТП. Процес отримання MEMC акселерометра  $i \in \Theta$  включає  $O_{ip} \cup O'_{ip}$  операцій. Водночас кожний MEMC акселерометр на кожну операцію  $O_{ip} \in Q_i \cup O'_{ip} \in Q'_i$  зіставляється з деякою безліччю технологічного обладнання  $\Omega^i \subseteq \Omega$ .

Паралельні операції  $O_{ip}$ , що використовують загальну підготовку і подачу сировини, вимагають ретельного складання графіків роботи для мінімізації виробничих витрат як для окремих процесів, так і для виробництва загалом, що призводить до зниження витрат виробництва.

Кожен ТП виготовлення MEMC акселерометрів має різні продуктивність ( $P$ ) і собівартість ( $C$ ) і характеризується особливою послідовністю зміни показників якості. Метою є вибір черговості і змісту технологічних операцій  $O_{ip}$ , що забезпечують задані параметри якості за найменших затрат часу ( $t$ ) і матеріальних ресурсів ( $Z$ ).

Технологічне обладнання, яке використовується на технологічних лініях, пов'язане з безперервним матеріальним потоком, зумовлене початком ( $t_n$ ) і

кінцем ( $t_k$ ) операцій  $O_{ip}$ . Тому для узгодження операцій  $O_{ip}$  з урахуванням послідовності виконання операцій виготовлення MEMC акселерометрів їх необхідно синхронізувати так, щоб узгодити початок  $t_n^i$  наступної операції  $O_{ip}$  і кінець  $t_k^i$  попередньої  $O_{ip-1}$  без простою обладнання.

Також необхідно синхронізувати роботу технологічних ліній так, щоб найбільш щільно завантажити технологічне обладнання, мінімізувати число виробничих змін, скоротити число переналадок.

Можна виділити низку завдань, які необхідно враховувати під час автоматизованого проектування ТП виготовлення MEMC акселерометрів: для забезпечення продуктивності ( $P$ ) ТП виготовлення MEMC акселерометрів необхідно забезпечити безперервність процесу під час його реалізації, для зменшення часу ( $t$ ) виконання ТП виготовлення MEMC акселерометрів – складання узгодженого виконання операцій  $O_{ip}$ , а також забезпечення завантаження матеріальним потоком із достатньою щільністю завантаження.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення нової узагальненої імітаційної моделі технологічного процесу виготовлення MEMC акселерометрів, яка дозволить отримати динамічні характеристики процесу й оптимізувати вибір операції для підвищення його ефективності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** *Імітаційна модель технологічного процесу виготовлення MEMC акселерометрів.* ТП виготовлення MEMC акселерометрів може бути пред-

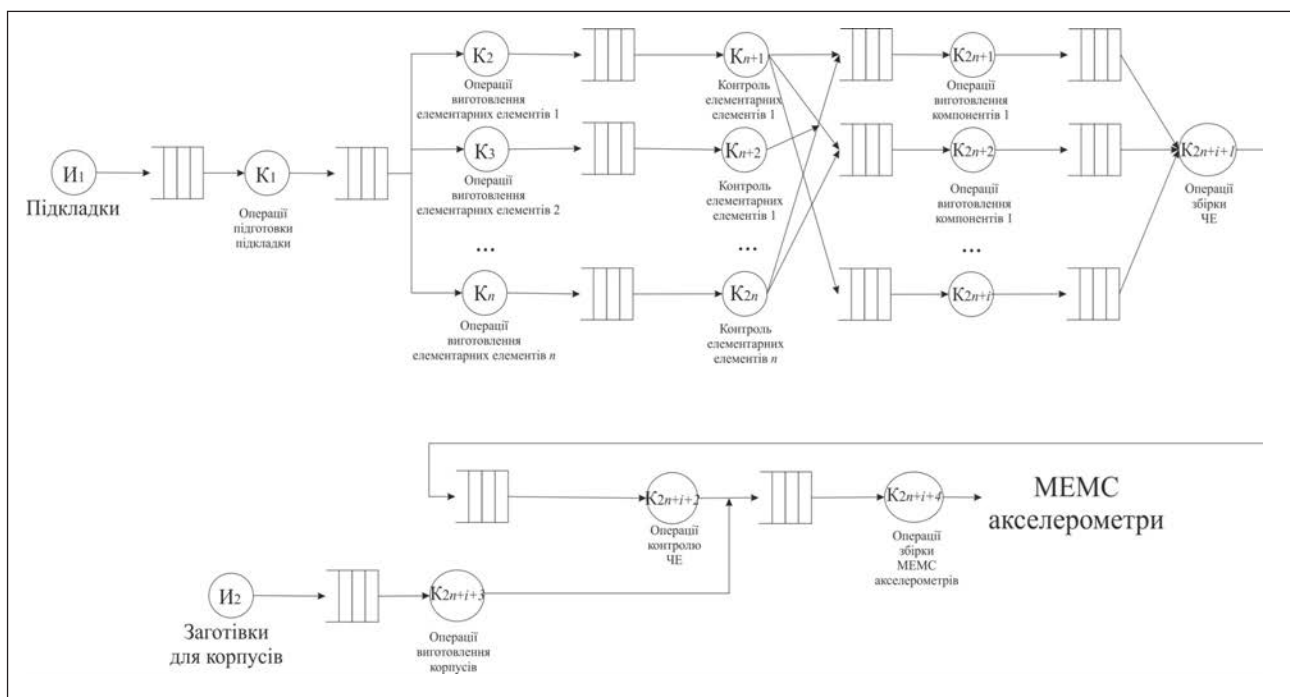


Рис. 1. Q-схема імітаційної моделі ТП виготовлення MEMC акселерометрів

ставлений як багатоканальна система масового обслуговування (далі – СМО) [5]. Це дозволить аналізувати ефективність отриманого маршруту ТП, продуктивність потоків.

Формалізуємо ТП виготовлення MEMS акселерометрів за допомогою Q-схеми і побудуємо його структуру. Під час побудови структури СМО необхідно враховувати три основних елементи [5]:  $I$  – джерела;  $H$  – накопичувачі;  $K$  – канали обслуговування заявок. За джерела  $I1$  слугують заготовки

$\Psi_i$  для підкладки і необхідна сировина  $S_i$  для виконання етапів отримання чутливого елемента (далі – ЧЕ);  $I1$  – заготовки  $\Psi_i$  для корпусу і необхідна сировина  $S_i$  для виконання етапів отримання корпусу MEMS акселерометрів, які надходять до системи з інтенсивністю  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  відповідно.

Каналами обслуговування  $K_i$ ,  $i = \overline{1,14}$  є укрупнені етапи ТП виготовлення MEMS акселерометрів відповідно до структурно-параметричної моделі виготовлення MEMS акселерометрів [6]:

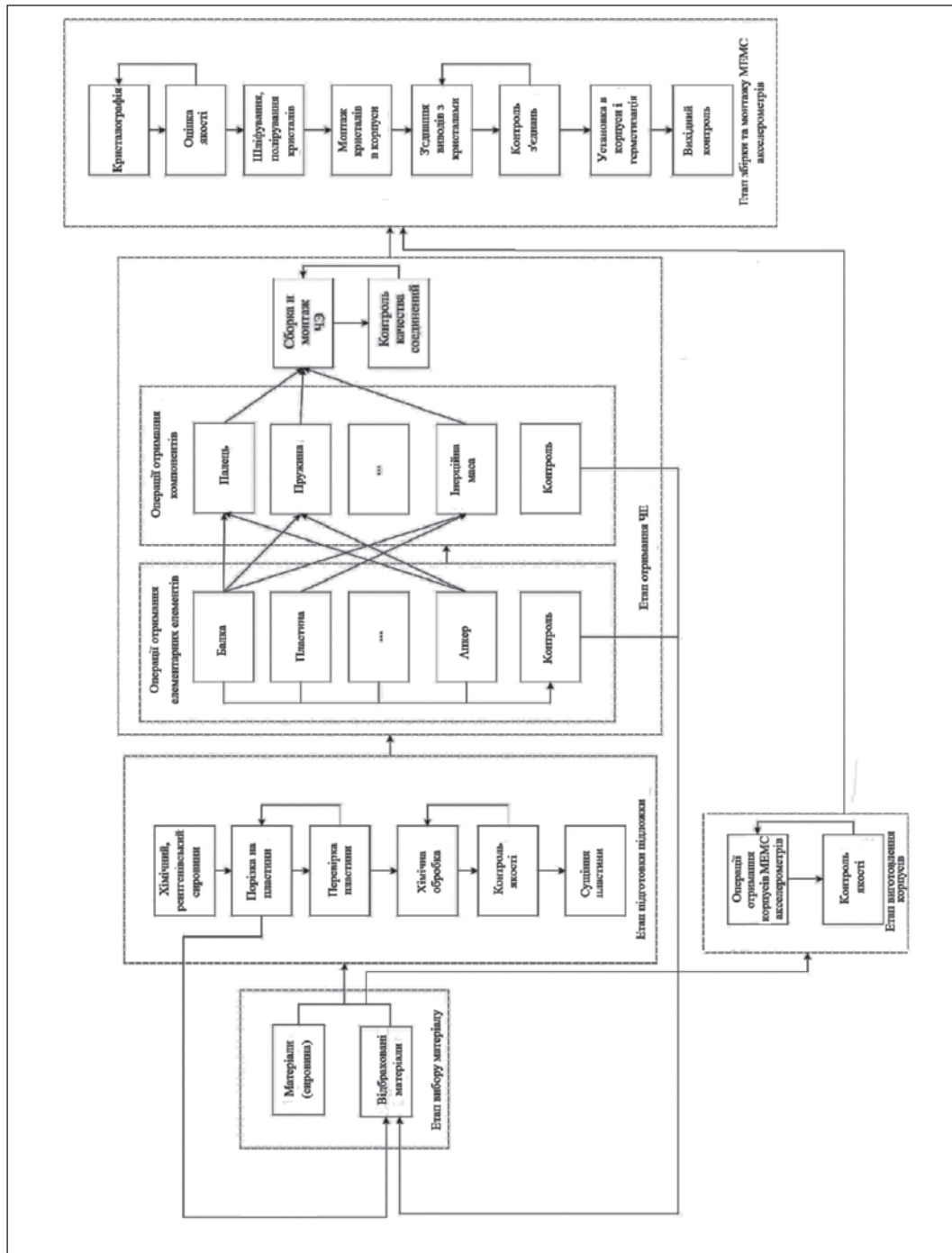


Рис. 2. Структура отриманого ТП виготовлення MEMS акселерометрів

$Q_1-Q_2$  об'єднані в канал  $K_1$ , етапи  $Q_5-Q_6$  представлені як канали  $K_2-K_{10}$ , етап  $Q_7$  представлений каналом  $K_{11}$ , етапи  $Q_8-Q_{10}$  об'єднані в канал  $K_{12}$ , а етапи  $Q_{12}-Q_{14}$  об'єднані в канал  $K_{14}$ .

Для імітаційного моделювання ТП виготовлення MEMC акселерометрів також необхідно задати такі вихідні дані:

–  $t_1$  – середній час, необхідний на виконання етапів вибору  $Q_1$  і підготовки підкладки  $Q_2$ ;

–  $t_2-t_n$  – середній час, необхідний на виконання операцій отримання елементарних елементів 1- $n$  на етапі  $Q_5$ ;

–  $t_{n+1}-t_{2n}$  – середній час, необхідний для виконання операцій контролю отриманих елементарних елементів 1- $n$  відповідно;

–  $t_{2n+1}-t_{2n+i}$  – середній час, необхідний для виконання операцій отримання компонентів 1- $n$  на етапі  $Q_6$ ;

–  $t_{2n+i+1}$  – середній час, необхідний для виконання операцій збирання ЧЕ на етапі  $Q_7$ ;

–  $t_{2n+i+2}$  – середній час, необхідний для виконання операцій контролю, отриманих ЧЕ на етапі  $Q_8$ , а також етапах  $Q_9-Q_{10}$ ;

–  $t_{2n+i+3}$  – середній час, необхідний для виконання операцій виготовлення корпусів MEMC акселерометрів на етапах  $Q_3-Q_4$ ;

–  $t_{2n+i+4}$  – середній час, необхідний для виконання операцій збирання і монтажу MEMC акселерометрів на етапах  $Q_{11}-Q_{14}$ .

На рисунку 1 представлена розроблена Q-схема імітаційної моделі ТП виготовлення MEMC акселерометрів.

**Імітаційне моделювання технологічного процесу виготовлення MEMC акселерометрів.** Вхідною інформацією для моделювання є результати синтезу ТП на основі методів інтелектуального аналізу даних і методів багатокритеріальної оптимізації рішень щодо типової структури ТП [6–7]. Основою імітаційної моделі стала типова структура ТП (рис. 2), отримана за допомогою

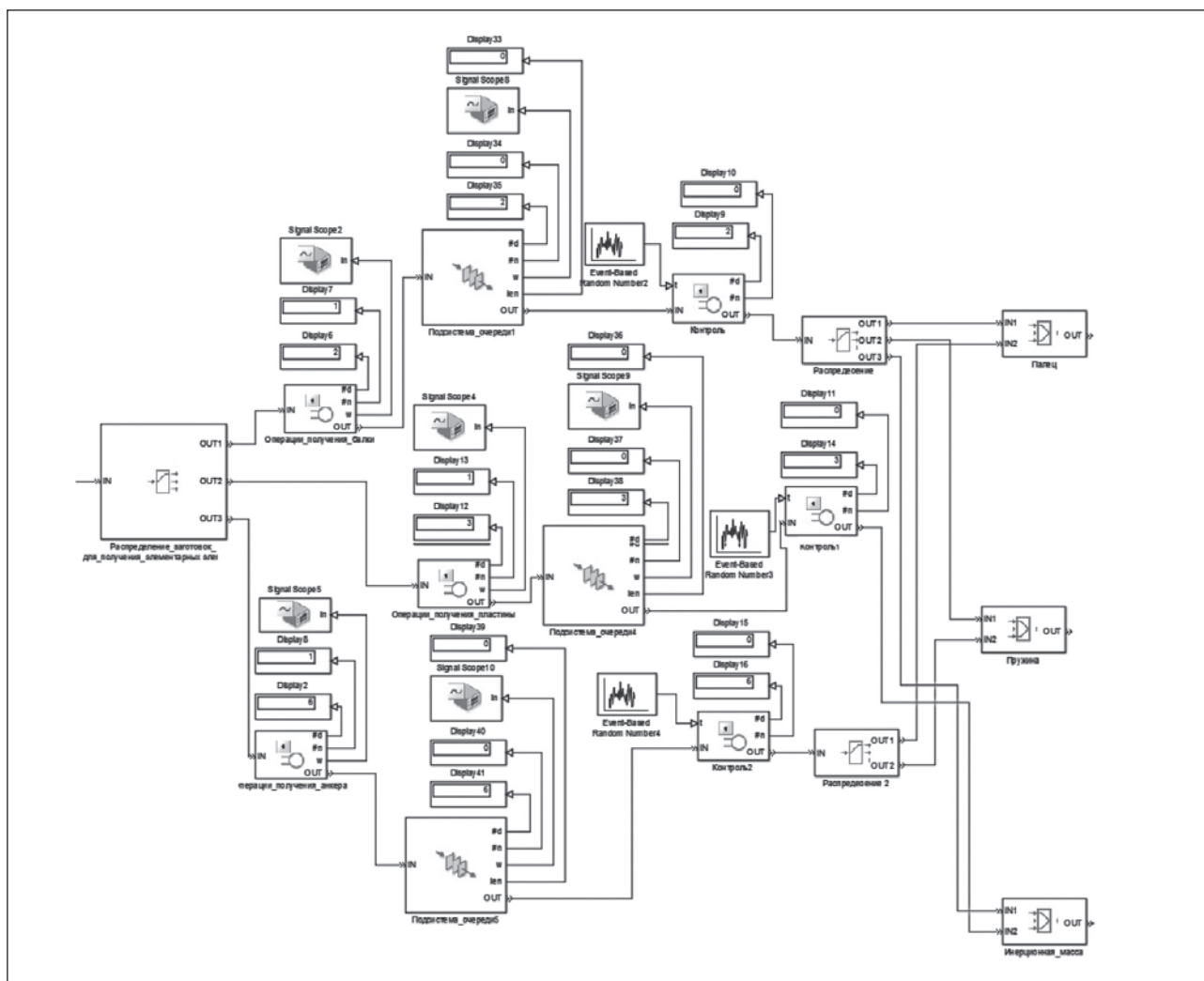


Рис. 3. Імітаційна модель етапів Q1 – Q2 ТП виготовлення MEMC акселерометрів

структурно-параметричної моделі виготовлення MEMS акселерометрів.

Реальні розподілення та характеристики технологічних операцій оцінюються безпосередньо на конкретному виробництві, вони пов'язані з реальним

технологічним обладнанням виробництва. Ці дані змінюються впродовж виробництва та їх моніторинг є обов'язковим складником виробничого процесу.

Для моделювання обираємо дані, наближені до реальних, що мають нормальне розподілення, яке

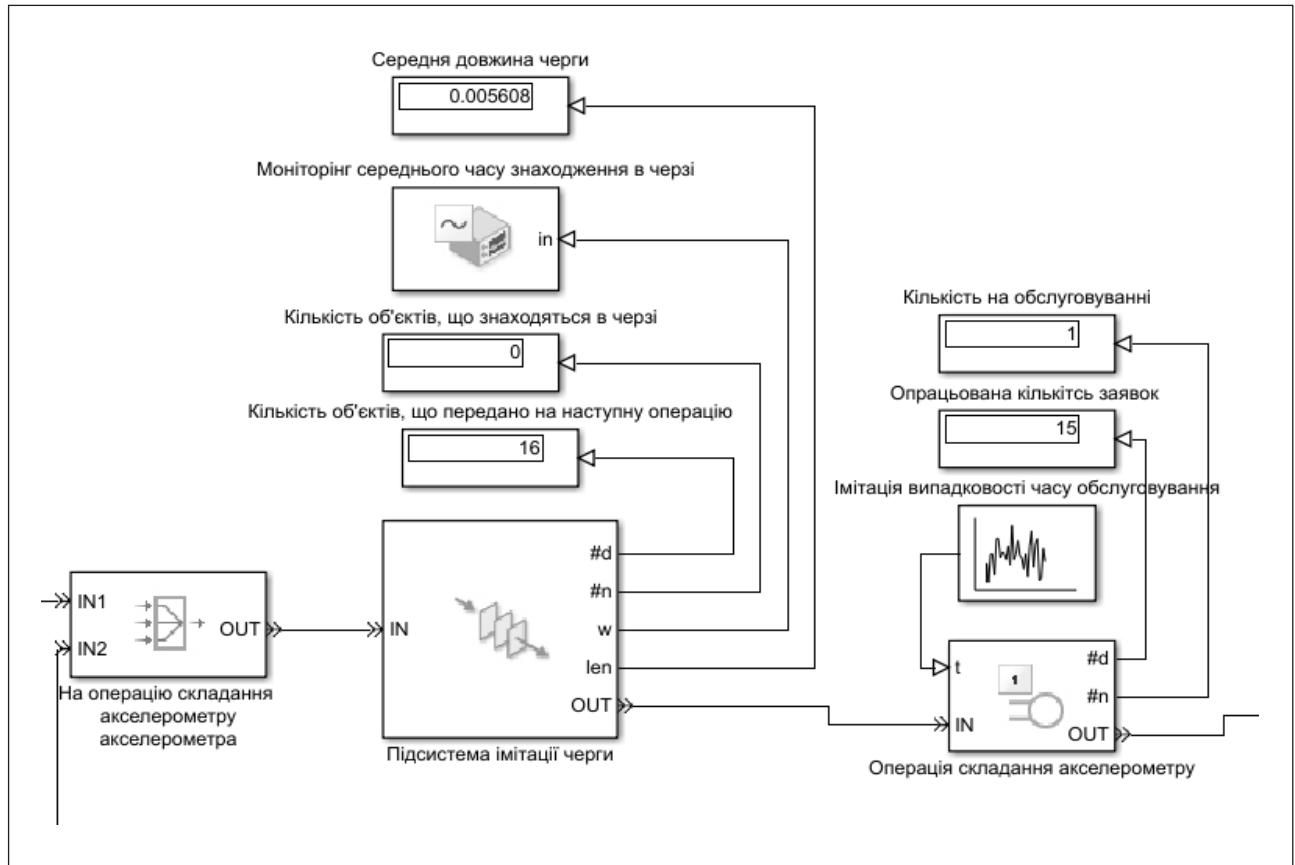


Рис. 4. Фрагмент імітаційної моделі, що реалізує операцію складання MEMS акселерометра

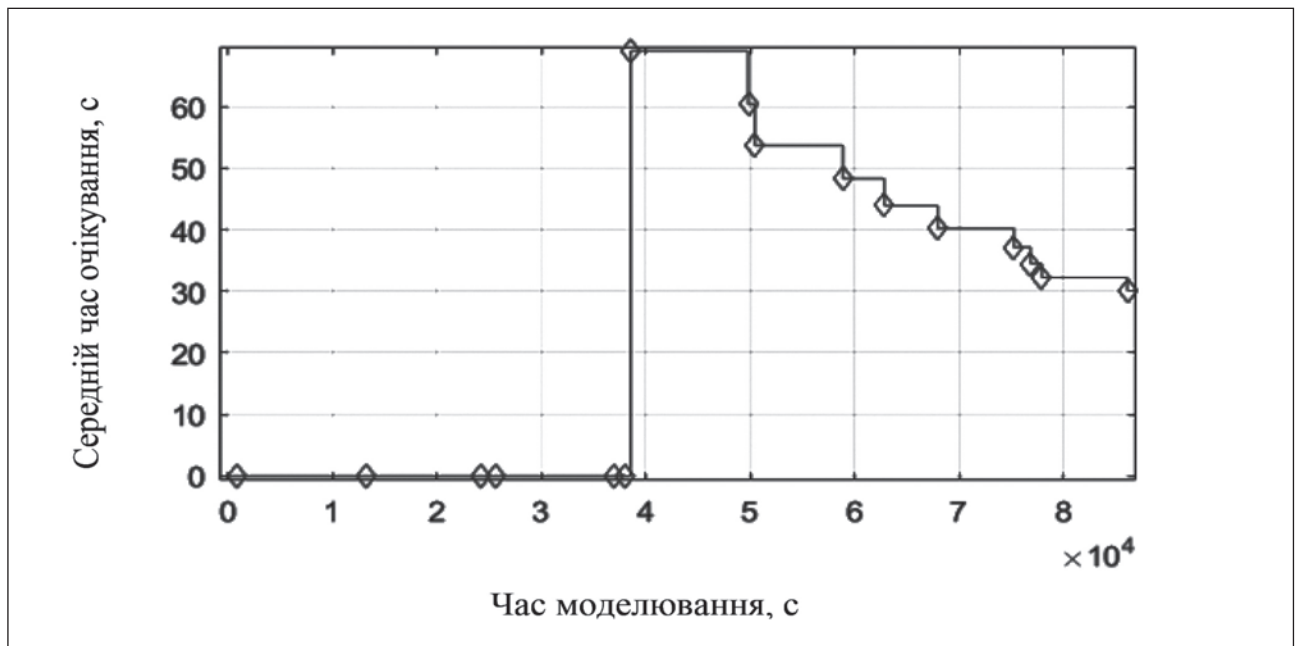


Рис. 5. Часова діаграма середнього часу простою заготовки  $\Psi_i$  на етапі складання ЧЕ



перебуває в інтервалі  $3\sigma = 3$  с:  $t_1 = 362$  с;  $t_2 = 12\,365$  с,  $t_3 = 13\,407$  с,  $t_4 = 13\,407$  с – середній час, необхідний для виконання операцій отримання балки, анкера, пластини відповідно;  $t_5 = 127$  с,  $t_6 = 117$  с,  $t_7 = 107$  с – час, необхідний для виконання операцій контролю отриманих балок, пластин і анкерів;  $t_8 = 9\,076$  с,  $t_9 = 9\,808$  с,  $t_{10} = 9\,076$  с – середній час, необхідний для виконання операцій отримання пальців, пружини, інерційної маси;  $t_{11} = 1\,090$  с – середній час, необхідний для виконання операцій збирання ЧЕ;  $t_{12} = 192$  с – середній час, необхідний для виконання операцій контролю отриманих ЧЕ й етапів  $Q_9 - Q_{10}$ ;  $t_{13} = 865$  с – середній час, необхідний для виконання операцій виготовлення корпусів МЕМС акселерометрів;  $t_{14} = 514$  с – середній час, необхідний для виконання операцій збирання і монтажу МЕМС акселерометрів.

Для підвищення точності і забезпечення достовірності результатів доцільний багаторазовий прогін імітаційної моделі з різними початковими умовами. Фрагмент отриманої імітаційної моделі однієї з паралельних гілок етапу  $Q_5$  (отримання балки) представлено на рисунку 3.

Імітація процесу виконується з урахуванням характеру розподілу випадкової величини виконання операції, яка отримується та коригується впродовж реального ТП за результатами кількісної оцінки роботи обладнання. Побудована модель дозволяє провести імітаційне моделювання процесу за різний період часу і проаналізувати кількісні характеристики (рис. 4).

У результаті імітаційного моделювання ТП виготовлення МЕМС акселерометрів генерується інформація:

- про кількість оброблених заготовок на етапах  $Q_1 - Q_2$  (канал  $K_1$ ), етапах  $Q_5 - Q_6$  ( $K_2 - K_{10}$ ),  $Q_7$  ( $K_{11}$ ),  $Q_8 - Q_{10}$  ( $K_{12}$ ),  $Q_{12} - Q_{14}$  ( $K_{14}$ );
- коефіцієнт використання устаткування (коефіцієнт використання каналів ( $K_1 - K_{14}$ ));
- середній час на виконання етапів  $Q_1 - Q_{14}$  ТП виготовлення МЕМС акселерометрів;

– максимальна і середня довжина черги заготовок  $\Psi_i$  для виконання операцій  $O_{ip}$  етапах  $Q_1 - Q_{14}$  ТП виготовлення МЕМС акселерометрів;

– середній час перебування заготовок  $\Psi_i$  у черзі на виконання операцій  $O_{ip}$  на етапах  $Q_1 - Q_{14}$  ТП виготовлення МЕМС акселерометрів.

Окрема інформація для зручності може бути відображена графічно у вигляді часової діаграми. Приклад відображення результатів моделювання представлено на часовій діаграмі середнього часу простою заготовки  $\Psi_i$  на етапі складання ЧЕ МЕМС акселерометра  $Q_9$  (рис. 5).

За результатами проведення імітаційного моделювання ТП виготовлення МЕМС акселерометрів можна сформулювати висновки щодо пропускної спроможності кожної з ділянок моделі, оцінки середнього часу очікування обслуговування заявки, рівномірності розподілу завантаження устаткування, коефіцієнта використання обладнання тощо. Отримані оцінки дозволять розробити для кожного рішення варіанти підвищення ефективності роботи ТП.

**Висновки.** На основі структурно-параметричної моделі технологічного процесу виготовлення МЕМС акселерометрів розроблено імітаційну модель такого процесу, яка враховує особливості ТП, характеристики техніко-технологічної бази підприємства, особливості операцій і переходів. Головною задачею імітаційного моделювання ТП є оцінка кількісних характеристик динаміки процесу виготовлення та визначення вузьких місць у структурі ТП з урахуванням характеристик обладнання та параметрів ТП. Імітаційна модель може стати базою для постановки завдання та вирішення оптимізаційних задач щодо визначення необхідної кількості робочих місць, обладнання, режимів роботи обладнання тощо. Результати даного дослідження можна використовувати як рекомендацій під час автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення МЕМС акселерометрів.

#### Список літератури:

1. Industry 4.0 and Connected Manufacturing. URL: <https://www.ibm.com/internet-of-things/industries/iot-manufacturing> (дата звернення: 23.12.2017).
2. The Internet of Things in manufacturing: benefits, use cases and trends. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-of-things-in-manufacturing/> (дата звернення: 23.12.2017).
3. Wu D., Thames J., Rosen D., Shcafer D. Enhancing the product realization process with cloud-based design and manufacturing systems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2013. № 13. P. 1–14.
4. Wang P., Gao R., Fan Z. Cloud computing for cloud manufacturing: benefits and limitations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2015. № 4. P. 1–9.
5. Стеценко І. Моделювання систем. Черкаси, 2010. 399 с.
6. Невлюдов І., Бордникова В. Структурно-параметрическая модель технологического процесса изготовления МЭМС акселерометра. Наукові праці ДонНТУ. Серія «Обчислювальна техніка та

автоматизація». Покровськ: ДВНЗ заклад «Донецький національний технічний університет», 2017. № 1(30). С. 6–16.

7. Nevludov I., Yevsieiev V., Miliutina S., Bortnikova V. MEMS Accelerometers Production Technological Route Selection. CAD Systems in Microelectronics, CADSM '17. 14th International Conference. The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. Lviv, 24 February 2017. Lviv, 2017. P. 332–333.

### **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ**

*Предложена имитационная модель технологического процесса изготовления микроэлектромеханических акселерометров. Модель позволит получить динамические характеристики процесса и оптимизировать операции для повышения эффективности технологического процесса. Проведено имитационное моделирование, которое показало работоспособность построенной модели.*

**Ключевые слова:** МЭМС акселерометр, технологический процесс, имитационное моделирование, Q-схема, система массового обслуживания.

### **MEMS ACCELEROMETERS PRODUCTION TECHNOLOGICAL PROCESS SIMULATION**

*On the article is proposed MEMS accelerometers production technological process simulation. The model will allow obtaining dynamic characteristics of the process and optimizing operations for improving the efficiency of the technological process. Simulation modeling was carried out, which showed the performance of the constructed model.*

**Key words:** MEMS accelerometers, technological process, simulation, Q-model, queuing system.

## Відомості про авторів

**Авраменко В.С.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

**Азаров І.С.** – студент Національного авіаційного університету;

**Антипчук Б.О.** – аспірант Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України;

**Бабаков Р.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики і теорії систем управління Донецького національного університету імені Василя Стуса (м. Вінниця);

**Баклан І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Барабаш А.О.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Барановський Д.М.** – аспірант кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету;

**Беглов К.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Бердинських С.О.** – кандидат технічних наук, учений секретар відділення образотворчого мистецтва Національної академії мистецтв України;

**Білошицька О.К.** – старший викладач кафедри біомедичної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Боднар М.А.** – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

**Болтенков В.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету;

**Бортнікова В.О.** – асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Боярінова Ю.Є.** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Василенко В.Г.** – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Вечерковська А.С.** – асистент кафедри програмних систем і технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Вітюк А.Є.** – магістр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Восводін Є.В.** – аспірант Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

**Войтович О.П.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри захисту інформації Вінницького національного технічного університету;

**Гайдукевич С.В.** – старший викладач Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

**Гарбуз С.К.** – аспірант кафедри управління проектами Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Гнатовская Г.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

**Говорущенко Т.О.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

**Головенько В.О.** – студент кафедри захисту інформації Вінницького національного технічного університету;

**Грушко С.С.** – асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж Запорізького національного технічного університету;

**Давидченко Д.В.** – магістр кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Дудатьєв А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри захисту інформації Вінницького національного технічного університету;

**Євсєєв В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Єфіменко А.А.** – доктор технічних наук, доцент кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій Одеського національного політехнічного університету;

**Задунай О.С.** – начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації;

**Злепко О.С.** – студент Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова;

**Каліновський Я.О.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник Інституту проблем реєстрації інформації НАН України;

**Карлангач О.П.** – старший викладач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій Одеського національного політехнічного університету;

**Качурівський В.О.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та вищої математики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

**Клепач Л.Є.** – аспірант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Коваленко К.А.** – ПАТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»;

**Корнага Я.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Криворучко І.О.** – магістрант Вінницького національного технічного університету;

**Кувасва В.І.** – аспірант кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету;

**Кузін Д.В.** – аспірант кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Кузьма К.Т.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського;

**Купін А.І.** – доктор технічних наук, професор ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

**Литвин О.О.** – асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

**Лобов В.Й.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій Криворізького національного університету;

**Лобова К.В.** – студентка групи СУА-14–1 системи управління і автоматики Криворізького національного університету;

**Магдич Б.В.** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Медушевський С.В.** – аспірант Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького;

**Мещеряков Д.В.** – аспірант Одеської національної академії харчових технологій;

**Мисько Б.С.** – ДП «Криворізький інститут автоматики»;

**Михайлова А.В.** – заступник начальника науково-організаційного відділу Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту;

**Мнацаканян В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»;

**Мнацаканян М.С.** – асистент кафедри технології міжнародних перевезень і логістики ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»;

**Музика І.О.** – кандидат технічних наук ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

**Наритник Т.М.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Невлюдов І.Ш.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Павлов В.С.** – студент Вінницького національного технічного університету;

**Позняк А.В.** – студент-магістрант кафедри інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету;

**Пономарьова Г.В.** – кандидат технічних наук, доцент викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Поперешняк С.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри програмних систем і технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Роптанов В.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету;

**Сайко В.Г.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладних інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Семенов А.О.** – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету;

**Семенова Н.П.** – старший викладач Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»;

**Сенько А.О.** – ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

**Сидоренко В.Л.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління у сфері цивільного захисту;

**Сконечний В.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій Одеського національного політехнічного університету;

**Стасенко А.С.** – магістрант кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування Хмельницького національного університету;

**Терещенко Т.О.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Титов С.Д.** – доцент кафедри вищої математики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Ткачук В.М.** – викладач Вінницького технічного коледжу;

**Функендорф А.О.** – асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Хрустальов К.Л.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Цирульник С.М.** – кандидат технічних наук, доцент, голова ЦК «Радіотехніка» Вінницького технічного коледжу;

**Черепанова К.В.** – асистент кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

**Чернишова Т.А.** – лікар Медичного центру авіаційного університету, м. Київ;

**Чмельов Є.І.** – інженер Південноукраїнської АЕС;

**Чумаченко С.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Науковий центр аналітичних випробувань стану параметрів довкілля Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища» НАН України;

**Ширій В.В.** – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Якубовська С.В.** – викладач Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Ямненко Ю.С.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ**  
**ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**  
**ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

**Серія: Технічні науки**

**Том 29 (68) № 1 2018**

**Частина 1**

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 33

Електронна пошта: [editor@tech.vernadskyjournals.in.ua](mailto:editor@tech.vernadskyjournals.in.ua)

Сторінка журналу: [www.tech.vernadskyjournals.in.ua](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua)

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 17,95. Ум.-друк. арк. 25,81. Зам. № 0318/22

Підписано до друку 30.03.2018. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.