



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

2 (38) ' 2016

Заснований  
у 2007 році

Наукове періодичне видання,  
в якому відображені результати  
наукових досліджень з розробки та  
удосконалення систем управління,  
навігації та зв'язку у різних  
проблемних галузях.

**Засновник:**  
Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

**Адреса редакційної колегії:**  
Україна, 36011, м. Полтава,  
Першотравневий проспект, 24

**Телефон:** +38 (066) 706-18-30  
(консультації, прийом статей).

**E-mail:**  
kozelnkova@pntu.edu.ua

**Інформаційний сайт:**  
<http://www.pntu.edu.ua>

**Реферативна інформація**  
зберігається: у загальнодержавній  
реферативній базі даних  
„Україніка наукова” та публікується  
у відповідних тематичних серіях  
УРЖ „Джерело”.

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

### **Голова:**

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф.)

### **Заступники голови:**

ГАЛАЙ Василь Миколайович (канд. техн. наук, доц.)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц.)

### **Члени:**

ІЛЮШКО Віктор Михайлович (д-р техн. наук, проф.)

ІЛЬІН Олег Юрійович (д-р техн. наук, проф.)

КАЛІННИКОВ Володимир Геннадійович (д-р фіз.-мат. наук, проф.)

КОРОБКО Богдан Олегович (канд. техн. наук, доц.)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф.)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф.)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф.)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф.)

МУРАВЛЬОВ Володимир В'ячеславович (канд. техн. наук, доц.)

ПЕШЕХОНОВ Володимир Григорович (академік РАН, д-р техн. наук, проф.)

СІЛЬВЕСТРОВ Антон Миколайович (д-р техн. наук, проф.)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф.)

СУХАНОВ Костянтин Георгійович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ХРАЩЕВСЬКИЙ Рімвідас Вілімович (д-р техн. наук, проф.)

ХОРОШКО Володимир Олексійович (д-р техн. наук, проф.)

ЦАРЬОВ Віктор Михайлович (канд. техн. наук, с.н.с.)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф.)

### **Відповідальний секретар:**

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф.)

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

*Журнал індексується наукометричною базою Google Scholar*

*Затверджений до друку науково-технічною радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол № 12 від 20 липня 2016 року)*

*Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України від 25.01.2013 р., № 54*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ГПР від 16.11.2012 р.*

# З М І С Т

## НАВІГАЦІЯ

<i>Калашиник М.А.</i> Механізми забезпечення сталого функціонування засобів навігації літальних апаратів в умовах деструктивного впливу .....	3
<i>Шульга О.В.</i> Побудова моделі псевдосупутникової радіосистеми для окремої ділянки автомобільного шляху на основі випромінювачів високої інтенсивності .....	9

## КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Данилов Ю.А., Обидин Д.Н., Тимочко А.А., Бердник П.Г.</i> Разработка модели потока воздушных объектов в районе аэропорта для системы управления воздушным движением .....	14
<i>Машков О.А., Фролов В.Ф.</i> Международная система антиастероидной защиты Земли .....	21
<i>Fryz S.P.</i> More about the problem of operational process control in satellite telecommunication systems .....	24

## ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Даниленко А.Ф., Скороделов В.В., Дьяков А.Г., Нечаусов С.Н.</i> Система управления ЯМР-спектрометром .....	32
<i>Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г., Рибка С.М.</i> Оцінка збурювальних впливів в контурах струму мікропроцесорної системи векторного керування електроприводом на базі АД з короткозамкненим ротором .....	35
<i>Захарченко Р.В.</i> Моделирование процесса теплообмена через элементарный шар зерна .....	38
<i>Іванченко О.В., Маренко Г.М., Іванченко А.О.</i> Надійність системи «автомобіль-дорога» при забезпеченні проведення спеціальної операції .....	41
<i>Кононов Б.Т., Любарський Б.Г., Куравська Н.М.</i> Моделирование работы безредукторного электропривода системы обертання антени РЛС .....	44
<i>Прібілев Ю.Б., Подорожняк А.О., Сакович Л.М.</i> Постановка завдання параметричної оптимізації складних технічних систем та можливі підходи до її вирішення .....	48
<i>Шуляк М.Л.</i> Определение вектора полного ускорения агрегата на основе экспериментальных ускорений его составных звеньев .....	53

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Дубницький В.Ю., Ходырев А.И.</i> Использование функций неаналитических средних величин для оценки согласованности вычислительных процессов .....	57
<i>Стоян Ю.Е., Романова Т.Е., Панкратов А.В.</i> Математическая модель задачи оптимальной компоновки многогранников в выпуклой многогранной области .....	64

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Берковський В.В., Солодовнікова Н.І.</i> Аналіз інформаційно-розрахункових систем, які застосовуються в Україні з метою підвищення прибутковості малого бізнесу .....	68
<i>Бульба С.С.</i> Ресурсо-орієнтована математична модель базової мережі гетерогенної розподіленої системи .....	73
<i>Гавриленко С.Ю., Швердін І.В., Шитова Т.М.</i> Вдосконалена методологія проектування систем антивірусного захисту .....	76
<i>Гриб Р.М.</i> Проблеми обробки астрономічних візуальних даних .....	79
<i>Жураковський Б.Ю., Довженко Н.М.</i> Сфери застосування двовимірних штрихових кодів .....	83
<i>Львіна І.В., Біжко О.В.</i> Аналіз особливостей візуалізації тривимірних об'єктів .....	88
<i>Коваленко А.В.</i> Метод управління ризиками розробки програмного забезпечення .....	93
<i>Козлов В.Є., Козлов Ю.В., Оленченко В.Т.</i> Програмний виріб для розвитку периферичного зору .....	101
<i>Косенко Н.В., Артюх Р.В.</i> Автоматизация методов оценки, отбора и формирования команды проекта на основе множества характеристик .....	104
<i>Семенов С.Г., Резанов Б.М., Босько В.В.</i> Процедури двохфакторної аутентифікації для забезпечення захисту електронного цифрового підпису .....	107
<i>Худова Ю.Ф., Катасонова О.М.</i> Обработка результатов метрологических измерений по выборках ограниченного объема ... ..	112
<i>Шевяков Ю.І.</i> Використання інформаційних технологій при імітаційному моделюванні завдань планування метрологічного обслуговування .....	115
<i>Юзова І.Ю., Прибильнов Д.В.</i> Навчання нейронної мережі розпізнавання повітряних об'єктів за розмахом крил, площею крила, кутом стріловидності, коефіцієнтом компоновки .....	121

## ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Глива В.А., Халіль В.В.</i> Використання міжнародної системи індексації небезпечних станів щодо визначення рейтингу інформації у системі керування охороною праці .....	124
<i>Левченко Л.О., Ходаковський О.В., Колумбет В.П.</i> Застосування моделювання поширення електромагнітних полів для зниження їх впливу на людей і довкілля .....	129
<i>Триць Р.М., Кіпоренко Г.С., Кім Н.І., Денисенко А.М.</i> Оцінювання ризиків функціонування системи управління якістю (ДСТУ ISO 9001:2015) вищих навчальних закладів .....	133

## ЗВ'ЯЗОК

<i>Жук О.Г.</i> Методика адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку .....	137
<i>Зінченко А.О.</i> Ефективність функціонування мережі мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки за показником величини математичного сподівання відведеного збитку .....	142
<i>Петрук С.М., Животовський Р.М.</i> Математична модель спотворення сигналів в багатоантенних системах безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення .....	146
<i>Чирва Д.П.</i> Обоснование точности воспроизведения волнового сопротивления неоднородной линии .....	151
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	154

# Навігація

УДК 621.7396

М.А. Калашник

*Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград*

## МЕХАНІЗМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ НАВІГАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВПЛИВУ

*Розглянуто загальну комплексну модель функціонування супутникових систем навігації (ССН) під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. Показано взаємозв'язок та взаємний вплив дестабілізуючих факторів на стійкість функціонування навігаційних систем літальних апаратів (ЛА). Визначено основні механізми функціональної стійкості роботи засобів навігації ЛА в умовах деструктивного впливу на них зовнішніх факторів.*

**Ключові слова:** деструктивний вплив, стале функціонування, навігаційне забезпечення.

### Вступ

**Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями.** У зв'язку з початком впровадження в систему управління повітряним рухом концепції ICAO CNS/ATM [1 – 3] про створення глобальної навігаційної супутникової системи, значно посилилися вимоги до якості навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації, що призводить до необхідності підвищення точності і надійності їх позиціонування при використанні супутникових систем навігації (ССН).

В сучасних умовах розширилось коло принципів організації стабільного функціонування засобів навігаційного забезпечення ЛА: 1) доступність (готовність) для виконання поставленого завдання; 2) цілісність; 3) конфіденційність - захищеність від несанкціонованого доступу (завадозахищеність); 4) глобальність дії; 5) незалежність від метеорологічних умов, рельєфу місцевості, висоти над поверхнею Землі, часу доби; 6) безперервність обслуговування; 7) точність визначення навігаційних параметрів; 8) надійність навігаційного забезпечення.

Вимоги до точності навігаційного забезпечення на кожному етапі польоту ЛА різні. Для вирішення завдань категорійної посадки ЛА за допомогою ССН необхідно підвищувати точність визначення просторових координат за допомогою зменшення похибок позиціонування ССН. У цій ситуації актуальною є можлива компенсація навігаційної похибки ССН в районі аеродрому за допомогою одночастотної навігаційної апаратури користувачів (НАК) GPS з забезпеченням функціональної стійкості засобів навігації ЛА під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Мінливість факторів космічної погоди та дестабілізуючий вплив нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди (геомагнітної та сонячної активності) на середовище і умови розповсюдження

навігаційного сигналу є природними явищами, які неможливо уникнути. Знання характеру параметрів космічної погоди, діапазону їх змін необхідно для удосконалення використовуваних і розробки нових технічних засобів, з метою мінімізації негативного впливу на них головного з зовнішніх дестабілізуючих факторів - динамічних змін космофізичних полів під дією геліогеофізичних явищ.

В сучасних умовах особливу важливість для України набуває загальна науково-прикладна проблема стійкого функціонування навігаційного забезпечення на основі космічних технологій під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди. Прикладні результати досліджень у цій сфері мають подвійне використання, як для цивільної, так і для військової авіації, мають особливо важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та визначення невирішеної раніше частини проблеми.** Ключові положення теорії функціональної стійкості були розвинені в численних роботах О.А. Машкова, О.В. Барабаша, Ю.В. Кравченко, С.М. Неділько, Д.М. Обідіна [4 – 6] та інших дослідників. Авторами [4 – 6] розроблено технологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом. Вивчення процесу функціонування систем навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації під впливом дестабілізуючих факторів космічної погоди, є однією з ланок продовження вищевказаного напрямку досліджень, але у сфері розробки шляхів підвищення якості навігаційного забезпечення в умовах потреби в високій точності позиціонування рухомих об'єктів під впливом динамічно змінних геофізичних полів, в першу чергу для забезпечення безпеки повітряних суден при польоті в районі аеродрому та при категорійному заході на посадку. Нами проведено аналіз

вимог до навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації в умовах реалізації концепції ICAO CNS/ATM з використанням в якості основного засобу навігації глобальних систем супутникової навігації та організації забезпечення авіаперевезень даними про космічну погоду [7,8] та проаналізовано проблеми навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації при використанні супутникових систем навігації в умовах спокійної і збуреної космічної погоди [7].

Основні типи наслідків негативного впливу явищ космічної погоди для безпеки польотів повітряних суден полягають у наступному: 1) зростання помилок позиціонування під час іоносферних збурень внаслідок виникаючих змін електронної концентрації на шляху поширення сигналу від передавача до приймача; 2) втрата сигналу внаслідок виникнення мерехтін під час сильних сонячних бурь; 3) виникнення при сонячній активності радіосплесків на частотах, що збігаються з частотами, які використовуються системою супутникової навігації; 4) як наслідок сонячно-протонних подій суттєвий радіаційний вплив на висотах польотів повітряних суден цивільної авіації; пробій діелектриків технічних пристроїв літальних апаратів (ЛА); виведення з ладу електронних пристроїв ЛА; помилки в показаннях приборів; помилкова геолокація.

Принцип роботи ССН базується на передаванні кодованих радіосигналів від навігаційного супутника до обладнання користувача, яке працює у пасивному режимі. Іоносферні збурення - основний дестабілізуючий фактор роботи ССН, є головною причиною збоїв в її роботі. При цьому в двохчастотних приймачах сигналу систем супутникової навігації проблема компенсації іоносферних похибок вирішена з достатньою точністю. Однак, внаслідок низки причин економічного та технічного характеру, навігаційне забезпечення повітряних суден цивільної авіації побудовано на використанні в якості стандартного обладнання одночастотних приймачів сигналу, для яких проблема коректної диференційованої компенсації іоносферних похибок дотепер не вирішена.

**Мета дослідження.** Створити комплексну модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. Вивчити взаємозв'язок та взаємний вплив дестабілізуючих факторів на стійкість функціонування навігаційних систем літальних апаратів (ЛА). Визначити основні механізми функціональної стійкості роботи засобів навігації ЛА в умовах деструктивного впливу на них зовнішніх факторів.

### Комплексна модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів

Функціональна стійкість навігаційного забезпечення ЛА ЦА – це здатність виконувати функції та

забезпечувати основні параметри в межах встановлених норм під дією зовнішніх та внутрішніх факторів [4 – 6 та ін.].

В узагальненому вигляді комплексна модель функціонування ССН під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів може бути представлена як:

$$G = \langle M, \gamma \rangle,$$

де  $M$  – модель роботи систем супутникової навігації;  $\gamma$  – модель дестабілізуючих впливів зовнішніх факторів. У свою чергу, модель роботи систем супутникової навігації може бути представлена, як

$$M = \langle A, U, L, \beta \rangle,$$

де  $A$  – множина ресурсів системи супутникової навігації, яка включає інфраструктуру апаратно-програмного забезпечення, що складається з орбітального угруповання, комплексу управління системою, користувальницького устаткування, програмного та інформаційного забезпечення, засобів комунікації з користувачами (зокрема, ЛА цивільної авіації (ЦА) навігаційною інформацією;  $U$  – моделі середовища поширення навігаційного сигналу (зокрема, іоносфери, тропосфери);  $L$  – опис структури ССН, організації її роботи, кількісні значення вимог до ССН, показники в межах встановлених норм (зокрема, згідно вимог ICAO, Радіонавігаційного плану України, концепції CNS/ATM);  $\beta$  – опис технології визначення позиціонування (зокрема, ЛА ЦА) з компенсацією іоносферної та інших похибок, які виникають під впливом дестабілізуючих факторів, апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок ССН, при яких використовуються ресурси множин  $A$  та  $U$ .

Узагальнена модель дестабілізуючих впливів зовнішніх факторів може бути описана як

$$\gamma = \langle R, \alpha \rangle,$$

де  $R$  – множина дестабілізуючих зовнішніх факторів впливу;  $\alpha$  – просторово-часова структура впливу дестабілізуючих зовнішніх факторів.

Множина  $R$  є сукупністю факторів, вплив яких на роботу систем супутникової навігації призводить до виникнення помилок позиціонування ЛА, збоїв у роботі систем, відмов.

Просторово-часова структура  $\alpha$  впливу дестабілізуючих зовнішніх факторів множини  $R$  на роботу систем супутникової навігації характеризує моменти початку впливів, їх часову тривалість для регулярних та нерегулярних збурень космічної погоди, просторовий розподіл їх впливу, на середовище поширення навігаційного сигналу, зокрема, нерівномірний розподіл іоносферних збурень (широтні, довготні зміни впливу), нерівномірний розподіл тропосферної рефракції, вплив на приймально-передавальні тракти радіотехнічних засобів систем, штучно створений вплив середовища (створеного противником), безпосередні дії противника на елементи

системи. Може бути представлена, як:

$$\alpha = \langle n, m, \tau \rangle,$$

де  $n = \langle A, R, N \rangle$  – бінарне відношення ( $N \subseteq A \times R$ ), яке визначає розподіл впливів множини дестабілізуючих факторів  $R$  на множини ресурсів системи супутникової навігації  $A$ ; де  $m = \langle U, R, M \rangle$  – бінарне відношення ( $M \subseteq U \times R$ ), яке визначає розподіл впливів множини дестабілізуючих факторів  $R$  на моделі середовища поширення навігаційного сигналу;  $\tau$  – параметр, який визначає тривалість впливів дестабілізуючих факторів та моменти початку їх впливу.

Крім того, для вирішення навігаційної задачі потрібна наявність сузір'я не менш чотирьох видимих супутників, що достатньо для визначення чотирьох параметрів  $x, y, z, \Delta T$ , де  $\Delta T$  – похибка годинника приймача відносно годинника супутника, які є чотирма невідомими у системі чотирьох алгебраїчних рівнянь. Геометрична суть рішення означає, що визначаються дві точки, які одночасно належать трьом сферичним поверхням з центрами, які співпадають з положеннями супутників, і з радіусами, які представляють собою псевдодальності, з яких виключено вклади від похибок (здвигов) годинників.

Взаємний вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів один на одного та на стійкість функціонування складових систем навігаційного забезпечення літальних апаратів має дуже складну природу (рис. 1).

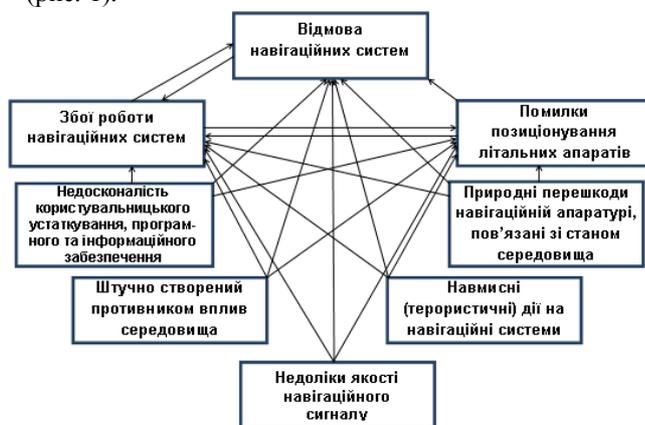


Рис. 1. Взаємозв'язок і взаємовплив дестабілізуючих факторів на стає функціонування навігаційних систем літальних апаратів

### Механізми забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА

Представлена нами комплексна модель функціонування засобів навігації ЛА ЦА під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів є основою для створення системи забезпечення їх функціональної стійкості (ФС). Система забезпечення ФС ССН в загальному вигляді повинна відповідати класичній схемі системи управління [9], в якій об'єктом управління виступає навігаційна система, органами управління

будуть механізми забезпечення її сталого функціонування, керуючими впливами в узагальненому вигляді будуть протидії загрозам порушення працездатності, підвищення характеристик точності позиціонування. Створення механізмів забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА повинно давати можливість у разі необхідності здійснювати вибір належного варіанту керуючого впливу на представлену в комплексній моделі структуровану множини ресурсів навігаційної системи за допомогою сукупності апаратних, програмно-технічних, методичних та організаційних заходів, спрямованих на протидію деструктивному впливу зовнішніх факторів на систему в цілому або на окремі її елементи.

Основні механізми забезпечення функціональної стійкості засобів навігації ЛА ЦА повинні включати: 1) своєчасне прогнозування збоїв у роботі систем супутникової навігації під впливом нерегулярних варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні похибки середовища поширення радіосигналів при збуреннях космічної погоди різного рівня; 2) підвищення точності та надійності навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації шляхом визначення похибок позиціонування під впливом варіацій космічної погоди, що викликають іоносферні трансформації середовища поширення радіосигналів; 3) забезпечення високого рівня безпеки польотів повітряних суден цивільної авіації шляхом підвищення точності визначення місцеположення при використанні одночастотних приймачів систем супутникової навігації в якості бортового обладнання; 4) створення алгоритмів відбракування аномальних похибок вимірювань; 5) забезпечення автономних методів контролю цілісності систем; 6) підвищення надійності, завадостійкості та електромагнітної цілісності навігаційних систем; 7) створення схем та алгоритмів усунення штучно створених впливів на середовище та приймально-передавальні тракти радіотехнічних систем.

Кількісні значення похибок визначення координат в технічно справній системі супутникової навігації визначаються умовами поширення навігаційного сигналу, які, в першу чергу залежать від стану космічної погоди, що визначається базовими параметрами геомагнітної і сонячної активності, а також залежить від сезону, часу доби, метеорологічних умов. Численні дослідження показують, що при будь-яких умовах основний внесок у похибку позиціонування повітряних суден цивільної авіації при технічно справній системі супутникової навігації вносять трансформації середовища поширення сигналів навігаційних систем (іоносфери і тропосфери) під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди.

Помилки позиціонування супутникових систем навігації апаратної природи, що виникають у приймально-передавальних трактах радіотехнічних засобів систем (і при апаратній обробці сигналів) мо-

жуть бути ліквідовані шляхом вдосконалення апаратури [2, 10]. Помилки, що пов'язані зі станом середовища, в першу чергу іоносфери, принципово не ліквідуються технічними засобами внаслідок їх природного характеру. Це обумовлено тим фактом, що нейтральні і іонізовані компоненти верхньої атмосфери Землі змінюють швидкість поширення радіохвиль. Іоносферні збурення зазвичай виникають після сонячних спалахів, коли різко посилюється іонізуюче випромінювання або розвиваються магнітні бурі. При посиленні сонячного вітру відбувається деформація магнітосфери Землі, збурення геомагнітного поля з, посилення радіаційних поясів, посилюються корпускулярні потоки в зоні полярних сьайв. При цьому також відбувається додаткове розігрівання верхньої атмосфери і змінюються умови іонізації іоносфери, що призводить до зміни висотних профілів концентрації і температури плазми [10]. Процеси, які відбуваються в іоносфері, носять складний нелінійний характер. На точність навігаційного забезпечення крім середовища поширення сигналу (стану іоносфери і тропосфери), впливають багато інших чинників, наприклад, якість навігаційного сигналу, конструктивні недоліки приймача, багатопроменевість, похибка ефемерид, похибка годинника та ін. Однак їх вплив на точність навігаційного забезпечення можливо знизити до необхідного користувачем рівня за допомогою різних технічних рішень, в той час як вплив середовища поширення сигналу, в силу його природи, зменшити технічними засобами неможливо.

Навігаційне вимірювання, яке виконується рухомим об'єктом в  $i$ -й момент часу з використанням  $j$ -того навігаційного супутника Землі ССН в загальному вигляді може бути представлено у вигляді [9]:

$$R_{ij} = R_{0ij} + \delta_{ij} + \Delta_{ij} + \lambda_{ij},$$

де  $R_{ij}$  – істинне значення вимірюваного навігаційного параметра;  $\delta_{ij}$ ,  $\Delta_{ij}$ ,  $\lambda_{ij}$  – відповідно випадкова, систематична та аномальна похибки вимірювань.

Для компенсації випадкової похибки навігаційних вимірювань можуть використовуватися алгоритми обробки, засновані на усередненні ряду послідовних вимірювань, наближенні послідовності вимірювань рядами, зокрема Чебишева, Лаггера, різними ортогональними функціями і т. д [9].

До числа систематичних похибок відносяться похибки, пов'язані з іоносферною та тропосферною рефракціями, похибки релятивістсько-гравітаційного походження, похибки годинника ССН та ЛА та інші.

Значення іоносферної похибки пропорційне повному електронному вмісту (ПЕВ) і включає в себе фазове випередження і групову затримку, доплерівське зрушення частоти, обертання площини поляризації радіохвилі. Похибки ССН, які пов'язані з іоносферною рефракцією супутникового сигналу, обумовлені варіаціями діелектричної проникності іоносфе-

рних шарів, а також значними неоднорідностями електронної концентрації. Кількісно ці похибки пропорційні ПЕВ [10], що залежить від широти, довготи, часу доби, року, сонячної і геомагнітної активності [10]. Ключовими характеристиками іоносфери, значення яких необхідно знати для вирішення прикладних завдань, є просторові розподілу іонів і електронів, а також їх швидкості і температури. Розподіл заряджених частинок, їх швидкість і траєкторії руху, є результатом дії великої кількості зовнішніх чинників, серед яких сонячна активність, рух нейтральної атмосфери і геомагнітна обстановка. Постійна зміна параметрів, що впливають на ключові характеристики іоносфери, ускладнює її точний математичний опис.

У систему обробки даних навігаційних сигналів GPS включена емпірична модель іоносфери Клобучара [11]. Ця модель має просте аналітичне опис середньомісячних значень ПЕВ, яке частково уточнюється по поточній ситуації шляхом оперативної корекції ряду параметрів моделі. Перевагою моделі є можливість застосування її в реальному масштабі часу. Ця модель недостатньо враховує нерегулярні, випадкові варіації (флуктуації) іоносферних параметрів під впливом зміни космічної погоди. В результаті, модель Клобучара дає середню помилку в описі ПЕВ, яка досягає 50% [11]. В останні роки розроблена емпірична модель іоносфери Gemtec [12]. У ній використовують розкладання значень ПЕВ для конкретного дня одного циклу сонячної активності з природничих ортогональних функцій і в якості вхідного параметра вводять значення сонячної активності для конкретного дня. Авторами цієї моделі на представницькому обсязі даних отримана величина відносної похибки 19,6% [13]. Більш точно компенсувати вплив іоносфери дозволяє математична модель IONEX. Для розрахунку іоносферної корекції  $R_{iono}$  в моделі використовуються глобальні іоносферні карти GIM в форматі IONEX, які коригуються через кожні 2 години, починаючи з 00:00 UTC. Недоліком моделі є неможливість її використання в реальному масштабі часу. У моделі IONEX величина відносної похибки часових визначень становить близько 30% [13]. На сьогоднішній день є декілька іоносферних моделей, які здатні відтворювати профіль електронної концентрації до висот орбіт навігаційних супутників і мають глобальний характер. Це моделі IRI і NeQuick [13]. Емпірична модель IRI розробляється спільною робочою групою Міжнародного союзу з досліджень радіохвиль (URSI) і Комітету з космічних досліджень (COSPAR). Вона заснована на тимчасових рядах іоносферних вимірювань. Однак, за даними [13] модель IRI справедлива до висот  $\sim 2000$  км, а модель NeQuick - до висот  $\sim 20000$  км, точність моделей різна і низька: IRI істотно завищує значення електронної концентрації на висотах вище максимуму F-шару, в той час як мо-

дель NeQuick має низьку точність на висотах нижче максимуму F-шару. Модель NeQuick є медіанною, середньомісячною, тому її середня відносна похибка досягає 35,8% [14]. Найвні методи компенсації іоносферної похибки в значній мірі (до 95%) усувають лише регулярну складову варіацій ПЕВ в іоносфері [12]. Аномальні похибки вимірювань виникають головним чином під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди.

Таким чином, невирішеною частиною проблеми є вивчення можливості врахування варіацій параметрів іоносфери під дією геліогеофізичних збурень космічної погоди і вивчення можливостей уточнення коригування іоносферних похибок супутникових систем навігації, виходячи з аналізу самих параметрів сигналів навігаційних сигналів, що пройшли іоносферу. Для вирішення цієї проблеми необхідно проаналізувати вплив нерегулярних варіацій космічної погоди на точність позиціонування, спробувати описати його кількісно і врахувати у вигляді кількісної моделі. Така концепція дозволяє сподіватися на створення методики більш точного визначення похибки внаслідок збурень космічної погоди і трансформації іоносфери, принаймні, у порівнянні з існуючою ситуацією.

Нами планується на основі існуючої моделі системи «іоносфера-плазмосфера» визначити вплив на навігаційне забезпечення повітряних суден цивільної авіації збуреної по хвильової активності іоносфери в умовах середніх широт шляхом полігонних досліджень із застосуванням групи одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації і їх різних комбінаціях при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної та збуреної геліогеофізичної обстановки. Це дозволить модернізувати існуюче фізико-математичне та апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок систем супутникової навігації GPS із застосуванням одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації; розробити та експериментально апробувати методику коректного визначення іоносферних похибок ССН GPS; провести експериментальне дослідження впливу нерегулярних варіацій іоносферних параметрів на точність позиціонування ССН, вивчити можливі впливи іоносферних збурень на роботу ССН з метою підвищення якості навігаційного забезпечення повітряних суден цивільної авіації; визначити іоносферні похибки ССН за допомогою одночастотних приймачів з високим тимчасовим і просторовим дозволом, шляхом мобільної та оперативної зміни геометрії вимірювальних пунктів при багатопозиційних синхронних вимірах групи одночастотних приймачів і їх різних комбінацій при багаторазових вимірах в різних умовах спокійної і збуреної геліогеофізичної обстановки; з розробкою рекомендацій щодо найбільш оптимального розташування їх антен відносно

одина одного на борту повітряного судна, що дозволяє підвищити ефективність прийому сигналів систем супутникової навігації; з експериментальним апробування якості прийому сигналів систем супутникової навігації при використанні визначеного в якості оптимального розташування одночастотних приймачів на борту повітряного судна при збуреній геліогеофізичної обстановці.

При вирішенні перерахованих завдань в роботі будуть використані теоретичні та емпіричні методи обробки результатів дослідження стану іоносфери і навколишнього космічного простору, варіацій параметрів космічної погоди, прикладні методи функціонального аналізу, чисельні методи, методи математичного моделювання, пакети прикладних математичних і навігаційних програм, а також експериментальні дослідження за допомогою навігаційного обладнання стандартного та спеціалізованого призначення.

Заплановані дослідження включають такі етапи: 1) проведення полігонних досліджень на аеродромі Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету для оцінки впливу різних чинників космічної погоди на величину помилки позиціонування повітряних суден цивільної авіації в супутниковій системі навігації GPS в умовах спокійної і збуреної космічної погоди; 2) аналіз похибки систем супутникової навігації, що вносяться трансформованим середовищем (іоносфера, тропосфера) під впливом збурень космічної погоди на трасі поширення навігаційних сигналів; 3) теоретичне обґрунтування можливості визначення похибок позиціонування повітряних суден цивільної авіації в технічно справній супутниковій системі навігації під впливом на середовище та умови розповсюдження навігаційного сигналу рівня геомагнітної та сонячної активності; 4) розробка та експериментально апробування моделі визначення похибок супутникових систем навігації та впливу нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди на точність позиціонування ПС цивільної авіації.

## **Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку**

Таким чином, система механізмів забезпечення сталого функціонування засобів навігації ЛА ЦА уявляє собою комплексну структуровану сукупність науково-методичних, організаційних, програмно-технічних заходів.

Для вирішення проблеми забезпечення стійкого функціонування систем навігаційного забезпечення в умовах збуреної космічної погоди під впливом динаміки космофізичних полів необхідно перш за все дослідити можливості на основі існуючої моделі системи «іоносфера-плазмосфера» визначення впливу на навігаційне забезпечення повітряних

суден цивільної авіації збуденої по хвильової активності іоносфери в умовах середніх широт шляхом полігонних досліджень із застосуванням групи одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації (ССН) і їх різних комбінаціях при багаторазових вимірах в різних умовах геліогеофізичної обстановки. Визначені закономірності дозволять модернізувати існуюче фізико-математичне та апаратно-програмне забезпечення методики визначення іоносферних похибок систем супутникової навігації GPS із застосуванням одночастотних приймачів сигналу систем супутникової навігації; розробити та експериментально апробувати методику коректного визначення іоносферних похибок ССН GPS при застосуванні одночастотних приймачів сигналу шляхом визначення найбільш оптимального розташування одночастотних приймачів на борту повітряного судна при збуденій геліогеофізичної обстановці, на що будуть направлені заплановані авторами подальші дослідження.

Очікуваними результатами є створення та експериментальне апробування моделі визначення похибок систем супутникової навігації під впливом нерегулярних варіацій параметрів космічної погоди на точність позиціонування повітряних суден цивільної авіації.

## Список літератури

1. Крыжанский Г.А. Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации/ Г.А. Крыжанский. - М.: ИКЦ Академкнига, 2003, 415 с.
2. Doc. 9719. Всемирная конференция по внедрению систем CNS/ATM. – Монреаль: ICAO, 1998.
3. Concept of Operations (ConOps) for the Provision of Space Weather Information in Support of International Air Navigation, December 2012/ IAVWOPSG/7-WP/19
4. Обідін Д.М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами / Д.М. Обідін // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – Вип.1 (37). – С. 179–182.
5. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем /О.В. Бара-

баш, Н.М. Берназ //Системи обробки інформації. – 2015. – Вип.12 (137). – С. 97–100.

6. Кравченко Ю.В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах/ Ю.В. Кравченко, С.В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 12-18.

7. Калашник Г.А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів/ Г.А. Калашник, Д.М. Обідін, М.А. Калашник // Системи обробки інформації. – 2016. – Випуск 3 (140). – С.52-56.

8. Kalashnyk G.A. Mechanism of precision and reliability improvement of navigational provision of aircraft under influence of heliogeophysical disturbances / G.A. Kalashnyk, D.N. Obidin, M.A. Kalashnyk // Conference proceedings XII International conference «Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence (ISDMCI'2016)», Zaliznyj Port, Ukraine, May 24–28, 2016, Kherson National Technical University, 2016. – P.7-8.

9. Навігаційне забезпечення Збройних сил України з використанням космічних систем: монографія / С.В. Козелков, К.С. Козелкова, С.М. Неділько та ін.; за ред. С.М. Неділько. – Кіровоград: Вид-во КЛА НАУ, 2013 р. – 628 с.

10. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и её приложения/ Ю.А. Соловьев. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 376 с.

11. Klobuchar, J.A. Ionospheric effects on GPS/ J.A. Klobuchar// Global Positioning System: Theory and Applications. Edited by B.W. Parkinson and J.J. Spilker Jr. Published by the American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1996.

12. Горбачев О. А. Оценка эффективности модели коррекции ионосферной погрешности Gemtec для систем GPS/ГЛОНАСС/ О.А. Горбачев, В.Б. Иванов, Е.Е. Нечаев // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – №180. – С.78-83.

13. Сажин В.И. Моделирование полного электронного содержания ионосферы/ В.И. Сажин, Е.М. Вдовин, А.Е. Торшина// Известия Иркутского государственного университета. – 2014. – Т.9 – С. 94-102.

14. Radicella S.M. The NeQuick model genesis, uses and evolution/ S.M. Radicella // Annals of Geophysics. – 2009. – Vol.52. – P.417-422.

Надійшла до редколегії 25.12.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Д.М. Обідін, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград.

## МЕХАНИЗМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.А. Калашник

Рассмотрена общая комплексная модель функционирования спутниковых систем навигации (ССН) под воздействием дестабилизирующих факторов. Показана взаимосвязь и взаимное влияние дестабилизирующих факторов на стойкость функционирования навигационных систем летательных аппаратов (ЛА). Определены основные механизмы функциональной стойкости работы навигации ЛА в условиях деструктивного влияния на них внешних факторов.

**Ключевые слова:** деструктивное воздействие, устойчивое функционирование, навигационное обеспечение.

## MECHANISMS OF PROVISION OF STABLE FUNCTIONING OF AIRCRAFT NAVIGATIONAL AIDS UNDER THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL DISTURBANCES

M.A. Kalashnik

There was considered a general complex model of functioning of satellite navigation systems (SNS) under the influence of destabilizing factors. The interrelation and mutual influence of destabilizing factors on the stability of operation of the navigation systems of aircraft was showed. The basic mechanisms of functional stability of the aircraft navigation operation under destabilizing impact on them were determined.

**Key words:** destabilizing impact, functional stability, navigational provision.

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПСЕВДОСУПУТНИКОВОЇ РАДІОСИСТЕМИ ДЛЯ ОКРЕМОЇ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ШЛЯХУ НА ОСНОВІ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

Розроблена модель псевдосупутникової радіосистеми (ПС РС) для окремої ділянки автомобільного шляху та проведений її аналіз. Моделювання стало найважливішим засобом вивчення процесів і явищ, проектування і розробки нових приладів, пристроїв, систем [1, 2]. Дослідження, виконане не на реальному об'єкті, а на його моделі, що адекватно відбиває основні властивості і характер процесів в об'єкті, є досить ефективним. Модель являє собою досягнуті знання про предмет дослідження у формі, що відповідає цілям і задачам цього дослідження. Моделювання з використанням ЕОМ об'єднує в собі як чисельні методи рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь, так і програмні засоби, орієнтовані на вирішення задач цього класу [3]. Використання універсальних мов програмування (C++, Pascal, Delfi, Java тощо) дозволяє представляти моделі будь-яких процесів, що мають відповідний математичний опис, так як ці мови в якості базових мають дійсні і цілі типи даних. Крім того, в них визначені як арифметичні операції над дійсними і цілим типами, так і логічні операції.

**Ключові слова:** псевдосупутник, псевдосупутникова радіосистема (ПС РС), модель, навігаційний параметр, джерело світла високої інтенсивності, неперервне навігаційне поле, елементарна чарунка, кут височіння.

### Вступ

Для досліджень в якості базового об'єкту вибрана модель руху дорожньої розмічувальної машини з визначенням її навігаційних параметрів за допомогою СРНС [4,5,6]. Задача полягає у розрахунку параметрів та розробці моделі локальної ПС РС, яка підвищує безпеку руху наземних транспортних засобів за рахунок удосконалення її оптичних пристроїв, основою яких є джерела світла високої інтенсивності. За допомогою оптичних пристроїв (світильників з лампами типу ДРІ – 400), встановлених на стовпах освітлювальної мережі, утворюється неперервне навігаційне поле, яке сприймається РС псевдосупутника(або декількох ПС) повітряного базування для подальшої обробки і поточних вимірювань навігаційних параметрів (ВПНП) транспортного засобу.

Вихідні дані для проведення досліджень:

1. Тип елементарної чарунки – чотирикутна;
2. Відстань між оптичними пристроями – 45м;
3. Швидкість руху об'єкта – 60, 90, 120 км/год;
4. Висота встановлення наземного ПС 12м;
5. Кута височінню ПС повітряного базування 5-15°

**Мета статті:** оцінка доцільності використання ПС РС для управління рухом транспортних засобів, а також дослідження характеристик інтегрованого навігаційного поля ГЛОНАСС/GPS/ПС РС.

### Основна частина

Для оцінки доцільності використання ПС РС а також дослідження характеристик інтегрованого

навігаційного поля ГЛОНАСС/GPS/ПС РС було проведено моделювання роботи такої системи.

У якості об'єкта дослідження було обрано ділянку автомобільного шляху, над якою за допомогою наземної мережі ПС створювалося навігаційне поле, утворене із елементарних чарунок чотирикутної форми. У якості випромінювачів навігаційних сигналів у оптичному діапазоні застосовано металогалогенні лампи високої інтенсивності (світильники з лампами типу ДРІ-400 (700), розміщені на стовпах вздовж автомобільних шляхів.

При встановленні випромінювачів на існуючих стовпах освітлення автомагістралі на висоті  $H_{ПС} = 12$  м, для кута височіння, що лежить у межах 5-15°, відстань між проекціями точок розташування ПС на Землю  $d$  має лежати в межах 91-274 м. Приймаємо для досліджень відстань 270 м (випромінювач встановлюється на кожному 6-му стовпі, при стандартній відстані між стовпами 45 м). Прийнята ширина автомагістралі – 18,5 м (двостороння чотирихвостовна траса). Випромінювачі встановлені до обидва боки від дороги, утворюючи таким чином елементарну чотирикутну чарунку розмірами 18,5×270 м.

У процесі дослідження визначались похибки положення та швидкості статичного (нерухомого) об'єкта, та об'єкта, що рухається вздовж автомагістралі з постійною швидкістю (60, 90 та 120 км/год).

Середньоквадратичні значення похибки вимірювання в плані та висотної похибки в межах однієї елементарної чарунки, а також похибки визначення горизонтальної та вертикальної складових швидкості руху для об'єкта, що рухається

вздовж автомагістралі за швидкістю 90 км/год наведено на рис. 1-3.

Значення середньоквадратичних похибок положення та швидкості об'єкта, отримані під час дослідження, в межах однієї елементарної чотирикутної чарунки зведено в табл. 1.

Як видно з таблиці, застосування навігаційного поля ПС, утвореного елементарними чотирикутними чарунками, дозволяє визначати координати руху (положення та швидкість) рухомого об'єкту навіть при великих швидкостях руху.

Встановлення ПС кожні 270 м пов'язано зі значними фінансовими затратами. Збільшити відстань між ПС можна, розміщуючи їх на більшій висоті, але це теж пов'язане з додатковими видатками на будівництво вишок під них.

Таблиця 1

Середньоквадратичні похибки положення та швидкості об'єкта у межах чотирикутної чарунки

Похибка	Швидкість руху об'єкта, км/год.				
	0	60	90	120	
Положення в плані, м	min	0,02	0,08	0,10	0,13
	max	0,04	0,12	0,15	0,18
Висотна, м	min	0,1	0,2	0,34	0,41
	max	0,24	0,41	0,47	0,58
Швидкісна, горизонтальна складова, м/с	min	–	0,052	0,052	0,081
	max	–	0,082	0,094	0,13
Швидкісна, вертикальна складова, м/с	min	–	0,045	0,059	0,077
	max	–	0,079	0,087	0,112

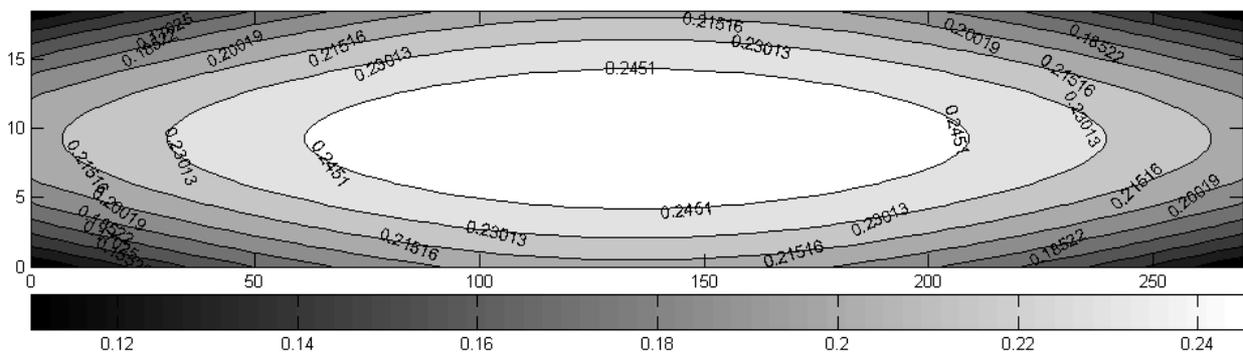


Рис. 1. Висотна похибка в межах елементарної чарунки для статичного об'єкта, м

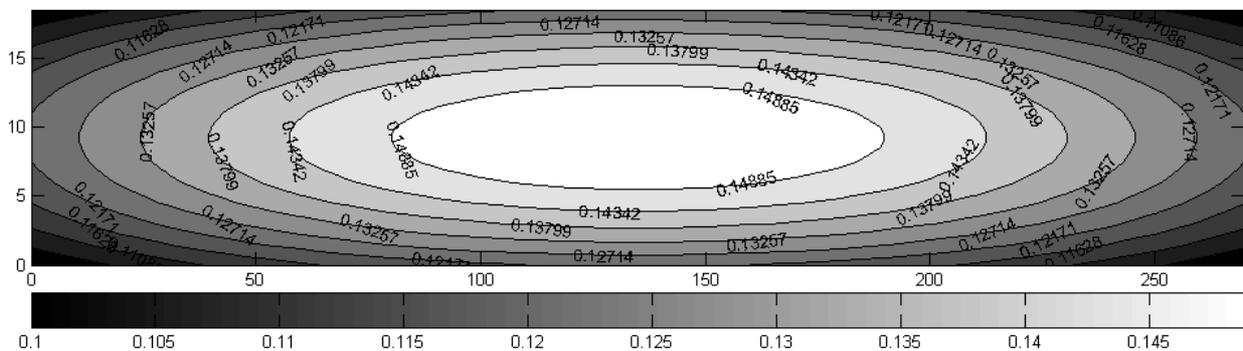


Рис. 2. Похибка вимірювання положення в плані в межах елементарної чарунки для об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., м

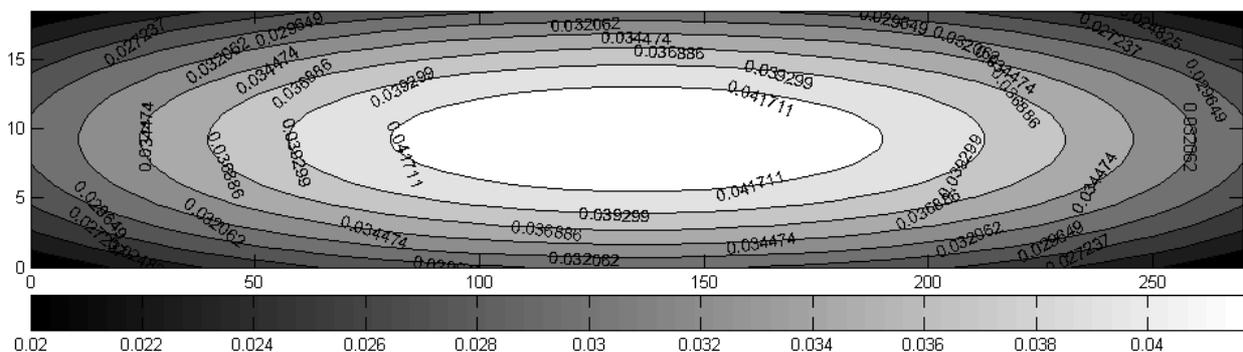


Рис. 3. Похибка вимірювання положення в плані в межах елементарної чарунки для статичного об'єкта, м

Враховуючи те, що значна частка сучасного транспорту обладнана (або може бути обладнана з відносно невеликими капіталовкладеннями) різноманітним навігаційним обладнанням низької та середньої точності (GPS-приймачі, GPS-навігатори, GPS-трекери тощо), альтернативно було розглянуто можливість навігації рухомого наземного об'єкта у інтегрованому GPS / ГЛОНАСС / ПС РТС навігаційному полі.

Під час дослідження розглядалися похибки визначення положення та швидкості руху статичного та рухомого об'єктів. Дослідження проводилось на тому ж відрізку автомагістралі, з тією відмінністю, що ПС розташовуються тільки з однієї сторони дороги. Таким чином, зони чотирикратно перекриття зон дії ПС не утворюється. Прийнято, що над ділянкою автомагістралі знаходяться 4

навігаційних ШСЗ, розташованих на висоті 20000 км у кутах квадрата зі сторонами 110000 км (досліджувана ділянка автомагістралі знаходиться поблизу центра цього квадрата). Графіки похибок положення у плані та похибок визначення горизонтальної складової швидкості при навігації з використання навігаційної інформації від наземного ПС та без неї для статичного об'єкта наведено на рис. 4 – 6, а для рухомого (швидкість – 90 км/год.) – на рис. 7, 8.

Значення середньоквадратичних похибок визначення положення в плані та горизонтальної складової швидкості руху об'єкта, із використанням навігаційної інформації від ПС РТС та без використання, отримані під час дослідження, зведено в табл. 2.

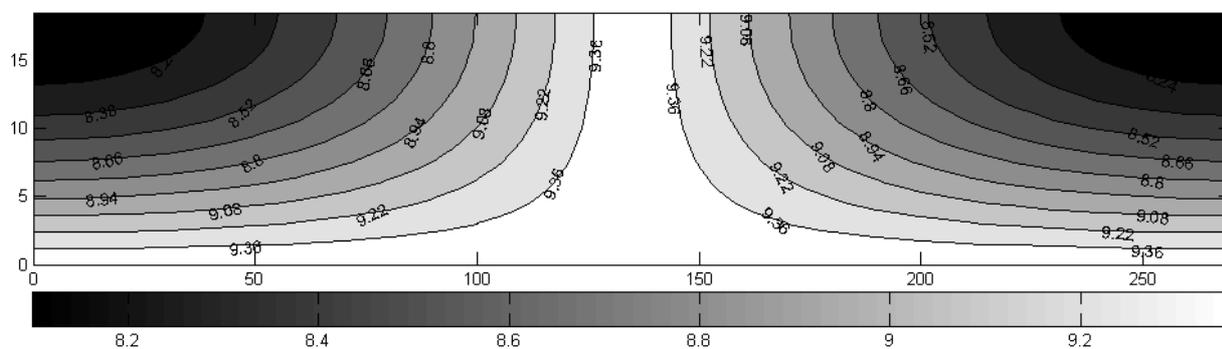


Рис. 4. Похибка вимірювання положення статичного об'єкта в плані без застосування навігаційної інформації ПС РС, м

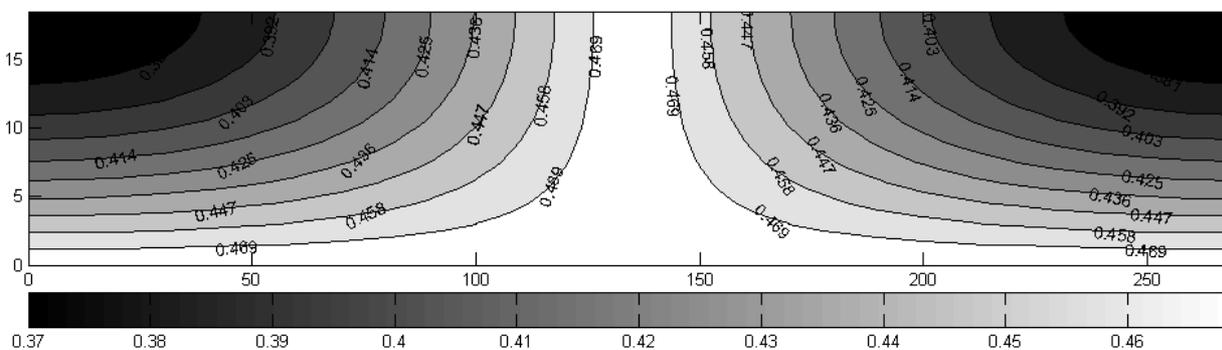


Рис. 5. Похибка вимірювання положення в плані із застосуванням навігаційної інформації ПС РС, м

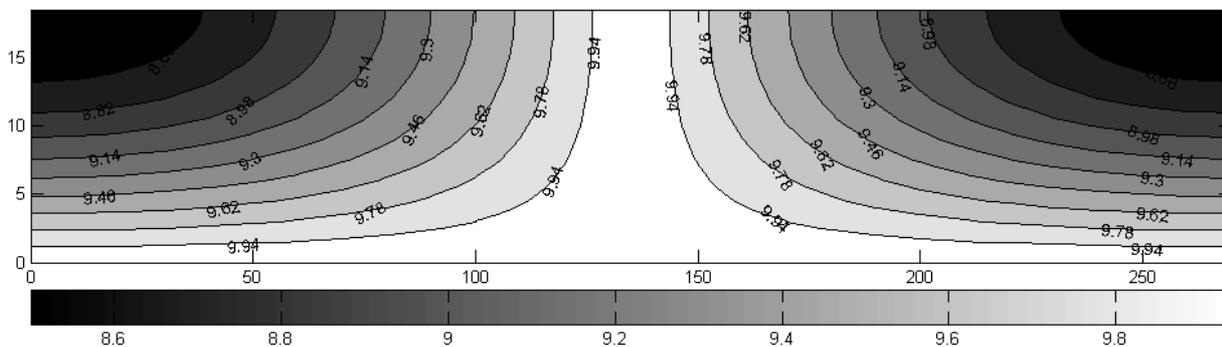
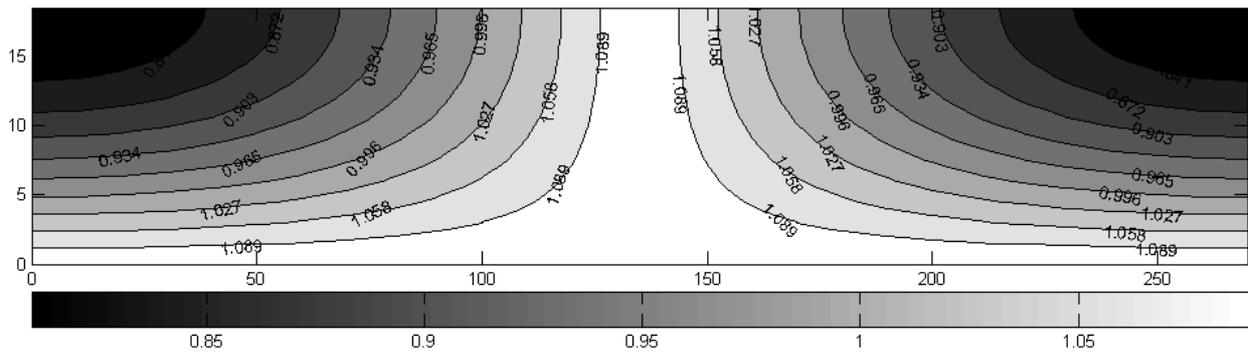


Рис. 6. Похибка вимірювання положення в плані об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., без застосування навігаційної інформації ПС РС, м



Результати моделювання показують, що використання навігаційної інформації ПС РТС для створення інтегрованого GPS/ГЛОНАСС/ПС РТС навігаційного поля навіть без утворення зон чотирикратного перекриття ПС дозволяє значно (до 10 раз) підвищити точність визначення положення рухомого наземного об'єкта та його швидкість (до 30%).

## Висновки

У рамках даної статті проведений комплекс досліджень складу, побудови та принципу роботи ПС РНС, виконане моделювання ПС РНС, у якій у якості наземних псевдосупутників використані лампи типу ДРІ – 400(700), встановлені на стовпах вздовж автострад, навколо площ та інших елементів транспортної інфраструктури.

Аналіз синтезованої моделі ПС РС на основі випромінювачів оптичного діапазону дозволяє створити практичну діючу наземну мережу псевдосупутників, яка замінює діючу сучасну СНРС і забезпечує високі точності та економічні показники.

## Список літератури

1. Дятлов Г.И. Вероятностные основы моделирования сложных систем / Г.И. Дятлов, В.Д. Кудрицкий. – К.: КВВАИУ, 1992. – 530 с.

2. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике / Ю.А. Евсиков, Г.В. Обрезков, В.Д. Разевиг, В.В. Чапурский, В.М. Чиликин. Под ред. Г.В. Обрезкова. – М.: Высшая школа, 1985. – 343 с.

3. Козелкова К.С. Теоретичні основи й методи побудови перспективних вимірвальних радіосистем ракетно-космічних комплексів з використанням шумоподібних просторово – часових сигналів К.С. Козелуова. – Дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. К., 2011. – 414 с.

4. Шульга О.В. Точнісний підхід при навігаційно-почасових визначеннях у псевдосупутникових радіонавігаційних системах / О.В. Шульга // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – П.: Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, 2014. – Вип. 3(31). – С. 17 – 22.

5. Шульга О.В. Исследование зависимости зажигания металлогалогенных ламп от напряжения формирования разряда с целью оптимизации пусковых режимов в средствах навигации оптического диапазона / О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, О.И. Данник // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 3 (101). – С. 134 – 137.

6. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений / П.Е. Эльясберг. – М.: Наука, 1976. – 221 с.

Надійшла до редколегії 25.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПСЕВДОСПУТНИКОВОЙ РАДИОСИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНОГО УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

О.В. Шульга

Разработана модель псевдоспутниковой радиосистемы (ПС РС) для отдельного участка автомобильной дороги и проведен ее анализ. Моделирование стало важнейшим средством изучения процессов и явлений, проектирования и разработки новых приборов, устройств, систем [1, 2]. Исследование, выполненное не на реальном объекте, а на его модели, адекватно отражающей основные свойства и характер процессов в объекте, является весьма эффективным. Модель представляет собой достигнутые знания о предмете исследования в форме, соответствующей целям и задачам данного исследования. Моделирование с использованием ЭВМ объединяет в себе как численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений, так и программные средства, ориентированные на решение задач этого класса [3]. Использование универсальных языков программирования (C++, Pascal, Delfi, Java и т.д.) позволяет представлять модели любых процессов, имеющих соответствующий математическое описание, так как эти языки в качестве базовых имеют действительные и целые типы данных. Кроме того, в них определены как арифметические операции над действительными и целым типам, так и логические операции.

**Ключевые слова:** псевдоспутник, псевдоспутниковая радиосистема (ПС РС), модель, навигационный параметр, источник света высокой интенсивности, непрерывное навигационное поле, элементарная ячейка, угол возвышения.

## PSEUDOSATELLITES RADIOSYSTEM MODEL BUILDING FOR SINGLE ROAD SECTIONS BASED ON HIGH INTENSITY EMITTERS

O.V. Shulga

Pseudosatellites radiosystem (PS RS) model designed for a single road section and conducted its analysis. Simulation has become an important tool in the study of processes and phenomena, design and development of new instruments, devices, systems [1, 2]. Research carried out not on the real object and its model adequately reflects the basic properties and the nature of the processes in place, is very effective. The model is made of knowledge about the subject in a form consistent with the goals and objectives of this study. Simulations using the computer combines the numerical methods for solving algebraic and differential equations, as well as software tools aimed at solving problems of this class [3]. The use of universal programming languages (C++, Pascal, Delfi, Java, etc.) allows you to represent the model of any process with the appropriate mathematical description, as these languages as base are the real and integer data types. Furthermore, they are identified as valid arithmetic and integer types and logical operations.

**Keywords:** pseudosatellite, pseudosatellite radiosystem (PS RS) model, navigation parameter, high-intensity light source, continuous navigation field, unit cell, elevation angle.

УДК 681.51:623.592

Ю.А. Данилов<sup>1</sup>, Д.Н. Обидин<sup>2</sup>, А.А. Тимочко<sup>3</sup>, П.Г. Бердник<sup>4</sup><sup>1</sup> *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*<sup>2</sup> *Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград*<sup>3</sup> *Фирма Х1, Харьков*<sup>4</sup> *Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков*

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПОТОКА ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

*В статье проводится анализ моделей потока истинных отметок, ложных отметок, неразрешимых отметок и суммарного потока истинных и ложных отметок. Предложения по выбору модели траектории движения воздушного объекта и основные исходные данные для разработки модели потока движущихся воздушных объектов для учета и реализации возможностей методов обработки радиолокационной информации в автоматизированных системах управления воздушным движением.*

**Ключевые слова:** *плотность воздушных объектов, маневр, информационное обеспечение, траектории воздушных объектов, первичная обработка радиолокационной информации.*

### Введение

Развитие новых технологий с одной стороны, рост интенсивности воздушного движения (ВД) с другой, а также накопленный опыт по разработке автоматических систем управления и планирования потоков ВД Украины позволяют существенно расширить возможности системы организации воздушного движения (ОрВД), систем управления воздушным движением (УВД) за счет автоматизации операций, связанных с планированием и регулированием потоков ВД. Необходимость разработки алгоритмов и методов прогнозирования, планирования и регулирования потоков ВД еще связана с принятием Украиной норм Международной организации гражданской авиации (ИКАО).

Цель ИКАО состоит в удовлетворении потребности населения в безопасном, регулярном, эффективном и экономичном международном воздушном транспорте и обеспечении безопасного и планомерного роста международной гражданской авиации во всем мире. Она поощряет конструирование и эксплуатацию самолетов в мирных целях, а также создание и развитие авиалиний, аэропортов и навигационного оборудования.

Оптимизационные задачи, связанные с планированием и регулированием потоков ВД, являются предельно сложными для решения, их описание связано с высокой размерностью, нелинейностями, сочетанием непрерывных, целочисленных, дискретных параметров, несвязностью областей допустимых параметров, неопределенностями во внешних условиях, что приводит к чрезвычайной сложности построения конструктивных алгоритмов оптимального синтеза и их программной реализации.

Разработка алгоритмов определения потенциальных конфликтных ситуаций (ПКС), алгоритмов прогнозирования потоков ВД велась с использованием методов теории вероятности и математической статистики, методов объектно-ориентированного программирования, методов имитационного моделирования.

Существующие методики синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий воздушных объектов разработаны для условия полной разрешаемости, т.е. каждому объекту соответствует не более одной отметки и каждая отметка принадлежит одному объекту.

Разработанные и реализованные по этим методикам алгоритмы не обеспечивают качественного сопровождения траекторий в условиях плотных потоков воздушных объектов, т.е. когда разность значений параметров сигналов отраженных от них соизмерима с мерой разрешающей способности РЛС. Учитывая целый ряд факторов, влияющих на принятие решения на этапе первичной обработки РЛИ, вполне возможны случаи, когда сигналы, отраженные от воздушных объектов накладываются, порождая всего лишь одну отметку.

**Анализ литературы.** К основным работам, посвященным повышению качества радиолокационной информации за счет разработки новых способов и алгоритмов сопровождения траекторий воздушных объектов (ВО), можно отнести [1 – 11].

Большинство из этих работ показывают различные методики синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий воздушных объектов. Однако, проведенный анализ данных работ показывает, что все они ориентированы на существующие методы обнаружения и сопровождения траекторий

воздушных объектов и разработаны для условия полной разрешаемости. Данная же работа направлена обоснование необходимости разработки алгоритмов вторичной обработки РЛИ в условиях плотных потоков ВО и применения ими маневра.

Целью данной статьи является анализ моделей потока истинных отметок, ложных отметок, неразрешимых отметок, суммарного потока истинных и ложных отметок для разработки модели потока движущихся воздушных объектов.

### Основная часть

В предыдущих статьях мы уже рассмотрели основные этапы предлагаемой методики синтеза оптимального алгоритма сопровождения траекторий ВО в условиях их плотных потоков.

Исходя из поставленной задачи, имеется источник РЛИ обзорного типа, позволяющий получать данные о потоке ВО в некоторой области пространства  $\Omega$ . Предположим, что в дискретные моменты времени через равные промежутки (цикл обзора пространства) подвергается анализу вся область пространства  $\Omega$ . Результаты каждого из единичных наблюдений представляют собой совокупность случайных сигналов, содержащих информацию о текущей реализации потока ВО в контролируемой области. После соответствующей обработки, на выходе приемного устройства источника РЛИ эти сигналы могут быть представлены в виде совокупности случайных точек (отметок ВО).

Таким образом, после каждого наблюдения на выходе источника РЛИ, появляется совокупность случайного числа отметок со случайными параметрами. Часть из них порождена ВО, находящимися в области  $\Omega$ , эти отметки несут информацию о параметрах траекторий ВО (истинные отметки). Другая же часть имеет шумовое происхождение и никакой полезной информации не несет. Отличить истинные отметки от ложных по результатам одного наблюдения невозможно, поскольку их различия имеют чисто статистический характер и проявляются лишь при многократных наблюдениях. Опишем их статистические характеристики.

#### 1. Модель потока истинных отметок

В известных методиках синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий ВО [8, 9] при выборе модели потока истинных отметок ВО выдвигались условия:

- каждому ВО отвечает не более одной отметки;
- каждая отметка порождена не более чем одним ВО.

Считая, что в зоне ответственности источника РЛИ находится не более  $n$  ВО, можно утверждать, что с вероятностью равной  $D(\bar{\mu}_j)$  отметка, порожденная  $j$ -м ВО, будет обнаружена, а с вероятностью

равной  $(1 - D(\bar{\mu}_j))$  пропущена [11].

Подобный поток отметок представляет собой суперпозицию  $n$  независимых элементарных потоков, каждый из которых состоит не более чем из одной отметки.

Парциальные производящие функционала (ПФ) каждого из таких потоков имеют вид:

$$L_{j\Omega}[u] = 1 - D(\bar{\mu}_j) + \int_{\Omega} D(\bar{\mu}_j) f(\bar{y}/\bar{\mu}_j) u[y] d\bar{y}, \quad (1)$$

где  $u[y]$  произвольная производящая функция;  $D(\bar{\mu}_j) f(\bar{y}/\bar{\mu}_j)$  – парциальная ПРВ координат отметки;  $f(\bar{y}/\bar{\mu}_j)$  – многомерная плотность распределения вектора наблюдения отметки при условии что она порождена ВО с вектором состояния  $\bar{\mu}_j$ .

ПФ простого потока Бернулли из  $n$  независимых элементарных потоков

$$L_{j\Omega}[u] = \prod_{(j=1)}^n [1 - D(\bar{\mu}_j) + \int_{\Omega} D(\bar{\mu}_j) f(\bar{y}/\bar{\mu}_j) u[y] d\bar{y}]. \quad (2)$$

ПРВ появления истинных отметок при условии, что в зоне ответственности источника РЛИ находится  $n$  ВО с векторами состояния  $\bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n$  можно определить как [11]:

$$\omega(1; \bar{y}_1, \dots, \frac{\bar{y}_i}{n}; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = \frac{\partial^n L_{\Omega}[u]}{\partial(\bar{y}_1) \partial(\bar{y}_2) \dots \partial(\bar{y}_i)} \Big|_{u=0}. \quad (3)$$

Тогда система ПРВ, описывающая простой поток Бернулли истинных отметок имеет вид [10, 11]:

$$\omega_0(I = 0/n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = \prod_{i=1}^n [1 - D(\bar{\mu}_j)] \text{ при } I=0;$$

$$\omega_1(1; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i/n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = \prod_{i=1}^n [1 - D(\bar{\mu}_j)] \times \sum_{j_1, \dots, j_i=1}^n \prod_{m=1}^i \frac{D(\bar{\mu}_{j_m}) f(\bar{y}_m/\bar{\mu}_{j_m})}{[1 - D(\bar{\mu}_{j_m})]} \text{ при } I \leq n; \quad (4)$$

$$\omega_1(1; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i/n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = 0 \text{ при } I > n,$$

где  $f(\bar{y}_m/\bar{\mu}_{j_m})$  – многомерная плотность распределения вектора наблюдения  $m$ -й отметки  $\bar{y}_m$  при условии что она порождена ВО с вектором состояния  $\bar{\mu}_{j_m}$ .

Будем считать что  $f(\bar{y}_i/\bar{\mu}_{j_i})$  распределена по нормальному закону. Например, для РЛС имеющий вектор наблюдения  $\bar{y}_i = |\beta, R|^T$  многомерная ПРВ будет иметь вид:

$$f(\bar{y}_m/\bar{\mu}_{j_m}) = 1 / (2\pi\sigma_R\sigma_\beta) \times \exp\left(-\left(\frac{\hat{R} - R}{\sigma_R}\right)^2 / 2 + \left(\frac{\hat{\beta} - \beta}{\sigma_\beta}\right)^2\right),$$

где  $\hat{R}$ ,  $\hat{\beta}$  - измеренные значения дальности и азимута;  $R$ ,  $\beta$  – истинные значения дальности и азимута.

Для введенного определения плотного потока ВО, вполне возможны случаи, когда отметки ВО не разрешаются, т.е. когда в один разрешаемый объем пространства параметров потока ВО попадает несколько отметок ВО. Такое предположение является альтернативой предположения о пропуске отметки и противоречит второму условию для простого потока Бернулли.

На практике редко все наблюдаемые сигналы относятся к одному классу и статистически неразличимы [6]. Скорее можно говорить, что существует небольшое число классов сигналов, внутри которых справедлив принцип неразличимости. Так, в радиолокации, например, эти классы сигналов соответствуют разным типам ВО, в астрономии - разным типам звезд и т.д.

Для описания параметров классифицированных совокупностей сигналов разумно ввести потоки классифицированных точек(отметок).

Для приведенной постановки задачи, целесообразно разбиение на классы отметок ВО условно произвести по количеству отметок, порожденных отдельными ВО и попавших в один объем разрешения источника РЛИ. Тогда отметка первого класса содержит одну одиночную отметку, второго - две одиночные отметки и т.д. Приняв данную классификацию отметок ВО необходимо учесть, что в одном объеме разрешения не могут быть одновременно отметки нескольких классов, т.е. отметки разных классов взаимоисключают возможность одновременного нахождения в одном объеме разрешения источника РЛИ.

ПФ потока Бернулли классов истинных отметок будет иметь вид [11]:

$$L|u| = \prod_{j=1}^M [1 - D(\bar{\mu}_j)] + \sum_{i=1}^t \int_{\Omega} D(\bar{\mu}_j^i) f(\bar{y}^i / \bar{\mu}_j) u[\bar{y}^i] \cdot d\bar{y}, \quad (5)$$

где  $M$  – количество элементарных потоков (максимальное количество отметок);  $D(\bar{\mu}_j^i)$  – вероятность обнаружения отметки  $i$ -го класса.

Следует заметить, что при рассмотрении потока, например, первого и второго класса вероятность их обнаружения будет отличаться. Однако, учитывая, что вероятность обнаружения отметки порожденной несколькими ВО, в общем случае, зависит от целого ряда случайных факторов (размеры ВО, расстояние между ВО, ракурс облучения, длина волны источника РЛИ, неоднородность атмосферы и т.д.) для упрощения будем считать вероятности обнаружения отметок всех классов одинаковыми. Введение такого допуще-

ния означает **отказ от статистической различимости** отметок разных классов. Таким образом, рассмотрению подлежат статистически неразличимые отметки ВО разных классов.

Использование же математического аппарата потока Бернулли классов отметок позволит использовать методику синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий ВО в случаях, когда поток ВО представлен потоком одиночных ВО, а поток отметок ВО предусматривает их возможное (периодическое, частичное) неразрешение в условиях их плотных потоков или маневра с многократным пересечением траекторий.

Следует отметить, что для разных сочетаний классов совокупности отметок ВО число элементарных потоков  $M$  будет различное. Это объясняется выполнением условия о порождении одним объектом не более одной отметки. Для случая, когда все отметки одного класса - одиночные, количество элементарных потоков равно  $n$ . Следовательно, если предположить, например, что какая-то отметка из всей совокупности второго класса (порождена двумя ВО), а все остальные первого класса, то количество элементарных потоков равняется  $(n-i)$ .

Исходя из этого, с учетом статистической неразличимости отметок разных классов, необходимо предусмотреть все возможные варианты отнесения отметок к классам, причем эти варианты должны быть опять-таки взаимоисключающими.

Окончательно ПФ потока Бернулли отметок разных классов учетом перечисленных допущений, будет иметь вид:

$$L|u| = \sum_{M=1}^n \sum_{I_1, \dots, I_M=1}^n \prod_{j=1}^n [1 - D(\bar{\mu}_j)] + \sum_{i=1}^t \int_{\Omega} D(\bar{\mu}_j) f(\bar{y}^i / \bar{\mu}_j) u[\bar{y}^i] \cdot d\bar{y}. \quad (6)$$

В данном выражении индекс  $j$  имеет символический смысл, так как в порождении отметки  $i$ -го класса принимает участие разное количество ВО.

Применяя метод функционального дифференцирования [9 – 11], перейдем к системе ПРВ описывающих поток Бернулли классов истинных отметок ВО, (рассмотрение возможности слияния отметок ВО при этом имеет смысл в случае, когда отметок меньше чем сопровождаемых траекторий):

$$\omega_0(I=0/n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = \prod_{i=1}^n [1 - D(\mu_j)] \text{ при } I=0;$$

$$\omega_1(1; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i / n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) \prod_{i=1}^n (1 - D(\mu_j)) \times \sum_{t_1, \dots, t_{i-1}=1}^{n-i+1} \sum_{t_i=1}^i \sum_{t_{i+1}=1}^n \prod_{\substack{t_{\phi}=1 \\ \phi=1, m=1}}^{t_{\phi}} \frac{D(\bar{\mu}_{j_{\phi m}}) f(\bar{y}_{i\phi} / \bar{\mu}_{j_{\phi m}})}{[1 - D(\bar{\mu}_{j_{\phi m}})]} \quad (7)$$

$$\omega_0(1 = \overline{0, n}; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = 0 \text{ при } I > n,$$

где  $t_i$  – класс  $i$ -й отметки ВО.

В выражении (7) каждое слагаемое определяет ПРВ того, что отметка пропущена или порождена ВО (совокупностью ВО).

Если предположить, что все отметки одного класса – одиночные, то выражение (7) вырождается в описание простого потока Бернулли истинных отметок (4).

Теория потоков классифицированных точек (отметок) имеет сходство с теорией потока группированных точек, при условии усреднения безусловных характеристик внутригрупповых точек (отметок). Однако теория потоков группированных точек предусматривает (в приложении к радиолокации) разрешение отдельных отметок, а рассмотрение разрешаемых отметок как одной оправдано лишь в частных случаях (например, при сопровождении траекторий ВО, находящихся вне зоны воздействия средств ПВО).

Таким образом, полученный поток истинных отметок позволяет расширить возможности траекторной обработки РЛИ с учетом возможного неразрешения совокупности одиночных ВО. Однако следует иметь ввиду, что в случае слияния полезных сигналов (слияния отметок ВО) закон распределения их параметров уже будет отличаться от нормального. Следовательно, необходимо иметь представление о законе распределения параметров слившейся отметки, т.е. получить модель неразрешенных отметок ВО.

## 2. Модель неразрешенных отметок

В условиях' плотных потоков воздушных объектов возможна ситуация, когда достаточно близкие воздушные объекты дадут общую отметку на выходе приемного устройства источника РЛИ, имеющего конечную разрешающую способность. Считая ПРВ координат отметки одиночного ВО гауссовой, получим закон распределения координат отметки порожденной несколькими ВО.

Пусть сопровождается два воздушных объекта, и получено

$$\bar{y}_j = \|\bar{y}_{j1}, \bar{y}_{j2}, \dots, \bar{y}_{jn}\|^r, j = 1, 2, \quad (8)$$

две отметки с  $n$ -мерными векторами наблюдаемых координат, ПРВ координат отметок отдельных ВО предполагаются независимыми и распределенными по нормальному закону с плотностями

$$P(\bar{y}_j) = N(\bar{y}_j, \hat{y}_j, \hat{s}_j); j = 1, 2, \quad (9)$$

где  $\hat{y}_j$  – математическое ожидание вектора  $\bar{y}_j$ ,  $\hat{s}_j$  – ковариационная матрица ошибок измерения.

Два измеренных значения вектора наблюдения  $\bar{y}$  считаются слившимися, если  $|\dot{y}_{1i} - \dot{y}_{2i}| < k_i \delta_i$ , где  $\delta_i$  – размер элемента разрешения для  $i$ -го элемента вектора наблюдения, а  $k_i$  – целое число.

Обозначим через  $\bar{c}$  один  $n$ -мерный элемент разрешения источника информации. Последующий синтез будем основывать на таких предположениях:

1. Элементы вектора наблюдения независимы между собой.

2. Должна учитываться относительная мощность обнаруженных сигналов от обоих ВО.

Слившееся измерение будем моделировать следующим образом:

$$\bar{y}_0 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \bar{y}_1 + \frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} \bar{y}_2 = \varepsilon \bar{y}_1 + (1 - \varepsilon) \bar{y}_2, \quad (10)$$

где  $Q_j$  – относительная мощность сигнала от  $j$ -го воздушного объекта.

Получим ПРВ слившегося измерения  $g(y_0)$ . Учитывая тот факт, что  $g(y_0)$  определяется вероятностью того, что оба измерения попадут в один элемент разрешения и используя формулу Байеса, можно записать

$$g(y_0) = P(\bar{y}_0 / \bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \bar{c}) = P(y_0) \frac{P(\bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \bar{c} / \bar{y}_0)}{P(\bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \bar{c})}. \quad (11)$$

Безусловная ПРВ в выражении (4) представляет собой [6]:

$$P(\bar{y}_0) = N(\bar{y}_0, \hat{y}_0, \hat{s}_0) = \prod_{i=1}^n N(\bar{y}_{0i}, \hat{y}_{0i}, \sigma_{0i}^2), \quad (12)$$

где  $\hat{y}_0 = \varepsilon \cdot \hat{y}_1 + (1 - \varepsilon) \hat{y}_2 = \|\hat{y}_{01}, \dots, \hat{y}_{0n}\|^r$ ;

$$\hat{s}_0 = \varepsilon^2 \cdot \hat{s}_1 + (1 - \varepsilon) \cdot \hat{s}_2 = \text{diag} \|\sigma_{0i}\|. \quad (13)$$

Знаменатель выражения (11) представляет собой априорную вероятность слияния двух измерений. Согласно предположения I

$$P(\bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \bar{c}) = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (14)$$

Определим

$$\bar{w} = \bar{y}_1 - \bar{y}_2 = \|\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_n\|^r.$$

Заметим, что ПРВ  $\bar{w}$  имеет гауссово распределение.

Поэтому, как показано в [6],  $P_i$  можно найти по следующей формуле:

$$P_i = \frac{1}{2} \left[ \text{erf} \left[ \frac{\widehat{w}_i + \sigma_i}{\sigma_{w_i}} \right] - \text{erf} \left[ \frac{\widehat{w}_i - \sigma_i}{\sigma_{w_i}} \right] \right] + \frac{\widehat{w}_i}{2\sigma_{w_i}} \left[ \text{erf} \left[ \frac{\widehat{w}_i + \sigma_i}{\sigma_{w_i}} \right] + \text{erf} \left[ \frac{\widehat{w}_i - \sigma_i}{\sigma_{w_i}} \right] - 2 \text{erf} \left[ \frac{\widehat{w}_i}{\sigma_{w_i}} \right] \right] + \sigma_{w_i} / (\sqrt{2\pi} \sigma_i) \cdot \left\{ \exp \left[ -(\widehat{w}_i + \sigma_i)^2 / (2\sigma_{w_i}^2) \right] + \exp \left[ -(\widehat{w}_i - \sigma_i)^2 / (2\sigma_{w_i}^2) \right] - 2 \exp \left[ -\widehat{w}_i^2 / 2\sigma_{w_i}^2 \right] \right\}.$$

Найдем числитель выражения (11)

$$P(\bar{y}_1, \bar{y}_2 \in \bar{c} / \bar{y}_0) = \prod_{i=1}^n q_i(y_{0i}). \quad (15)$$

Для оценки этого члена требуется определить ПРВ  $P(\bar{w}, \bar{y}_0)$ .

Из преобразования

$$\bar{w} = \bar{y}_1 - \bar{y}_2 = (\bar{y}_0 - \bar{y}_2)/\varepsilon \quad (16)$$

видно, что распределение  $P(\bar{w}, \bar{y}_0)$  также гауссовское.

Таким образом, координаты отметки, порожденной несколькими ВО, можно аппроксимировать гауссовским распределением и, следовательно, введение неразрешенных отметок не противоречит известным методикам [11].

### 3. Модель потока ложных отметок

В известных методиках синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий ВО за поток ложных отметок, полагая, что они имеют шумовое происхождение, принимается поток Пуассона с пространственной плотностью  $v(\bar{y})$  [10]. При этом считается, что реализации потока ложных отметок в разные моменты времени независимы.

Для связи пространственной плотности  $v(\bar{y})$  пуассоновского потока ложных отметок с вероятностью ложной тревоги можно использовать такое соотношение:

$$F = \int_{\Delta \bar{y}} v(\bar{y}) d\bar{y}, \quad (17)$$

где  $F$  – вероятность ложной тревоги;  $\Delta \bar{y}$  – объем элемента разрешения источника РЛИ.

Полное описание этого потока дает плотность распределения вероятности получения  $i$  ложных отметок с векторами наблюдения  $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i$  в зоне ответственности источника РЛИ  $\Omega$ :

$$\omega_i(\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i; \Omega) = \prod_{i=1}^n v(\bar{y}) \cdot \exp\left(-\int_{\Delta \bar{y}} v(\bar{y}) d\bar{y}\right). \quad (18)$$

Если предположить, что статистические характеристики потока неизменны (т.е. при постоянной пространственной плотности  $v$  потока ложных отметок в зоне ответственности источника РЛИ  $\Omega$ ) выражение (18) примет вид:

$$\omega_i(\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i; \Omega) = v^i \cdot \exp(-v \cdot V_\Omega), \quad (19)$$

где  $V_\Omega$  – объем многомерной зоны ответственности источника РЛИ  $\Omega$ :

Для случая одномерного измерения  $\bar{y} = \hat{x}$  и различного числа  $i$  ложных отметок на интервале дальности  $\Delta x$  (интервале возможного изменения аргумента) выражение (19) примет вид:

при  $i = 0$ :  $\omega_0 = \exp(-v\Delta x)$ ;

при  $i = 1$ :  $\omega_1(\hat{x}_1) = v \cdot \exp(-v\Delta x)$ , (рис. 1);

при  $i = 2$ :  $\omega_2(\hat{x}_1, \hat{x}_2) = v^2 \cdot \exp(-v\Delta x)$ , (рис. 2).

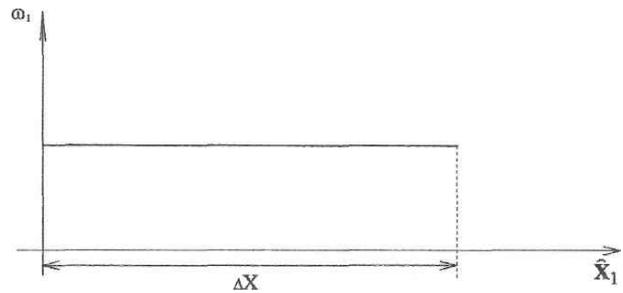


Рис. 1. Одна ложная отметка ( $i = 1$ )

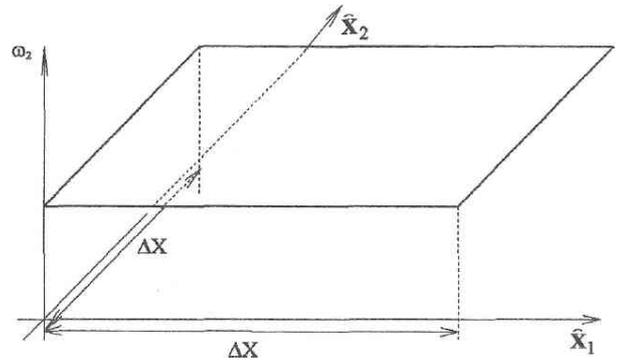


Рис. 2.. Две ложные отметки ( $i = 1$ )

Необходимо отметить, что поток Пуассона ложных отметок вполне применим также при описании большинства ложных отметок, порожденных искусственными радиопомехами.

Однако отметки, порожденные некоторыми видами помех (например, синхронной и несинхронной импульсной помехой), при описании которых нельзя пренебречь взаимозависимостью отметок, необходимо описывать уже более сложными потоками, например, потоком Пуассона кратных точек.

### 4. Модель суммарного потока истинных и ложных отметок

Потоки истинных и ложных отметок на входе системы вторичной обработки являются статистически зависимыми.

Так, например, если появился полезный сигнал (отметка) с параметром  $\bar{y}$ , то вблизи него в пределах элемента разрешения не могут появиться ложные сигналы (отметки).

Однако, учесть этот факт аналитически не удастся, поэтому такой зависимостью при синтезе алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий ВО пренебрегают [11], считая потоки истинных и ложных отметок статистически независимыми. В этом случае, при фиксированном числе ВО  $n$  в зоне ответственности источника РЛИ  $\Omega$ , суммарный поток отметок может быть представлен суперпозицией независимых потока Бернулли истинных отметок и потока Пуассона ложных отметок.

Полное описание такого потока можно представить условной плотностью вероятности получения  $i$  отметок с векторами наблюдения  $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i$ .

$$\begin{aligned} & \omega(1; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_1 / n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n) = \\ & = \prod_{i=1}^1 v(\bar{y}_i) \exp\{-\int v(\bar{y}_\Sigma) d\bar{y}_\Sigma\} = \\ & = \prod_{j=1}^n (1-D(\bar{\mu}_j)) \sum_{p=0}^1 \frac{1}{p!} \sum_{t_1, \dots, t_p = i_1, \dots, i_p=1}^{n-p+1} \sum_{i_p=1}^1 \times \quad (20) \\ & \times \sum_{j_1, \dots, j_{t_1}=1}^n \prod_{l=1}^{t_p} \prod_{m=1}^{t_p} \frac{D(\bar{\mu}_{j_{\varphi m}}) f(\bar{y}_{i_\varphi} / \bar{\mu}_{j_{\varphi m}})}{[1-D(\bar{\mu}_{j_{\varphi m}})]} v(\bar{y}_{i_\varphi}), \end{aligned}$$

где  $v(\bar{y}_i)$  – интенсивность потока ложных отметок;  $t_i$  – класс  $i$ -й отметки ВО.

В этом выражении каждое слагаемое определяет ПРВ того, что  $p$  из  $I$  отметок являются истинными,  $(1-p)$  – ложными,  $(n-p)$  целей пропущены или их траектории слились, причем отметка порождена, в том числе, целью с номером  $i_m$  ( $m = \bar{1}, p$ ).

Если все отметки одного класса – одиночные, то выражение (20) вырождается в описание суперпозиции потока Бернулли истинных отметок и потока Пуассона ложных отметок.

Каждое слагаемое описывает один из вариантов отнесения  $p$  истинных отметок к  $n$  ВО.

В дальнейшем удобнее пользоваться отношением правдоподобия, характеризующим правдоподобность неизвестных параметров потока наблюдаемых ВО  $n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n$  при конкретных значениях числа отметок и значений их векторов наблюдения  $i, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_1$ :

$$\begin{aligned} & L(n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n / n; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_1) = \\ & = \frac{\omega_i(1; \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_1 / n; \bar{\mu}_1, \dots, \bar{\mu}_n)}{\omega_i(\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_1 / n = 0)} = \\ & \prod_{j=1}^n (1-D(\bar{\mu}_j)) \sum_{p=0}^1 \frac{1}{p!} \sum_{t_1, \dots, t_p = i_1, \dots, i_p=1}^{n-p+1} \sum_{i_p=1}^1 \times \quad (21) \\ & \times \sum_{j_1, \dots, j_{t_1}=1}^n \prod_{l=1}^{t_p} \prod_{m=1}^{t_p} \frac{D(\bar{\mu}_{j_{\varphi m}}) f(\bar{y}_{i_\varphi} / \bar{\mu}_{j_{\varphi m}})}{[1-D(\bar{\mu}_{j_{\varphi m}})]} v(\bar{y}_{i_\varphi}). \end{aligned}$$

Для случая одномерного измерения (например,  $\bar{y} = \hat{x}$ ), различного числа воздушных объектов  $n$  и отметок  $i$ , выражение (21) принимает различный вид.

при  $n=2, i=0$  (отметки отсутствуют) – это вероятность пропуска двух ВО (при этом считаем  $D(\bar{\mu}_j = D), v(\bar{y}_i) = v$ ):

$$L(n=2; x_1, x_2) = (1-D)^2;$$

при  $n=2, i=1$  выражение принимает вид

$$\begin{aligned} & L(n=2; x_1, x_2) = (1-D)^2 \times \\ & \times \left[ I + \frac{Df(\hat{x}_1/x_1)}{(1-D)v} + \frac{Df(\hat{x}_1/x_2)}{(1-D)v} + \right. \\ & \left. + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_1)f(\hat{x}_1/x_2)}{(1-D)^2 v^2} \right]. \end{aligned}$$

Как функция от  $x_1, x_2$  – это отношение правдоподобия имеет вид двух: гребней (слагаемые 2, 3) на "пьедестале"  $(1-D)^2$  (слагаемое 1) и пика на пересечении двух гребней (слагаемое 4), характеризующего возможность порождения отметки двумя воздушными объектами (рис. 3).

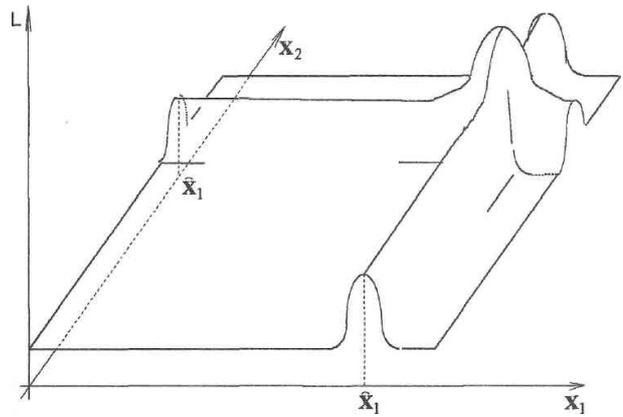


Рис. 3. Возможность порождения отметки двумя ВО

При  $n=3, i=2$  выражение принимает вид

$$\begin{aligned} & L(n=3; x_1, x_2, x_3 / I=2; \hat{x}_1, \hat{x}_2) = \\ & = (1-D)^3 + \left[ I + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_1)f(\hat{x}_2/x_2)}{(1-D)^2 v^2} + \right. \\ & + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_1)f(\hat{x}_2/x_3)}{(1-D)^2 v^2} + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_2)f(\hat{x}_2/x_1)}{(1-D)^2 v^2} + \\ & + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_2)f(\hat{x}_2/x_3)}{(1-D)^2 v^2} + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_3)f(\hat{x}_2/x_1)}{(1-D)^2 v^2} + \\ & \left. + \frac{D^2 \cdot f(\hat{x}_1/x_3)f(\hat{x}_2/x_2)}{(1-D)^2 v^2} + \frac{D^3 \cdot f(\hat{x}_1/x_1)f(\hat{x}_1/x_2)f(\hat{x}_2/x_3)}{(1-D)^3 v^3} \right]. \end{aligned}$$

Здесь слагаемое  $I$  рассматривается как пьедестал, слагаемые 2, 3, 4, 5, 6, 7 – как пики, характеризующие правдоподобность отнесения отметок к одиночным ВО, слагаемые 8, 9, 10, 11, 12, 13 – как пики, характеризующие правдоподобность отнесения отметок к нескольким ВО (рис. 4, для сечения  $x_3 = 0$ ).

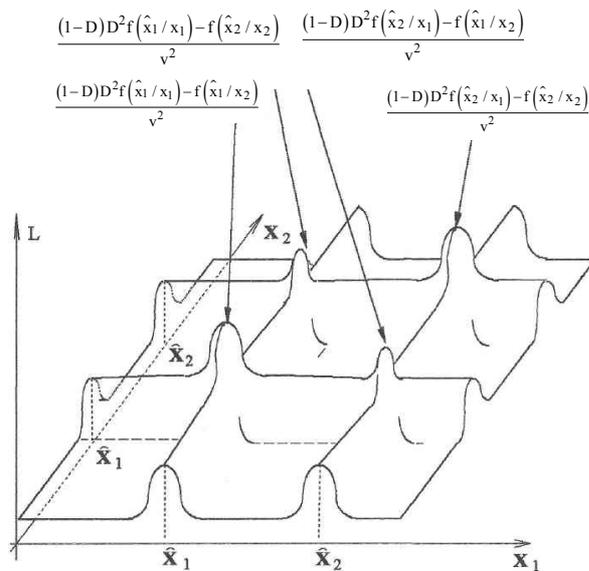


Рис. 4. Піки, характеризуючі правдоподібність отнесення отміток к нескольким ВО

## Вывод

В процесі спостереження джерелом РЛІ по мірі накоплення інформації змінюються представлення о структурі та характеристиках потоку повітряних об'єктів. Рішення про значення параметрів траєкторій ВО в будь-який момент часу приймаються на основі апостеріорних характеристик потоку, сформованих за результатами спостережень, проведених: до цього моменту. Тому формування апостеріорних характеристик потоку повітряних об'єктів є першочерговою задачею в процесі синтезу алгоритмів.

## Список литературы

1. Голицу М.А., Войтович С.А. Методика синтезу алгоритмів виявлення та супроводження траєкторій повітряних об'єктів Зб. наукових праць. Випуск 21. - Х.: ХВУ, 1998. - С. 82-86.

2. Кузьмін С.З. Основи проектування системи цифрової обробки радіолокаційної інформації. - М.: Радио і зв'язь. - 1986. - 432 с.

3. Определение параметров движения объектов в статистически неопределенных ситуациях / Н.С. Григоренко, Логинов В.П. Мальцев В.И. и др. / Зарубеж. радиоэлектроника. - № 2 1988. - С. 3 - 29.

4. Kuo-Chu Chang, Joint probabilistic data association for multitarget tracking with possibly unresolved measurements. American Control Conference Proceedings. Vol. AES - 18, Feb. 1983. - p.466 - 471.

5. Kuo-Chu Chang, Joint probabilistic data association for multitarget tracking with possibly unresolved measurements. M.S. Thesis, Dept. Elec. Engr. Sci., Univ. of Connecticut. Storrs. Sept. 1983. - p.218 - 222.

6. Леман Э. Теория точечного оценивания: /Пер с англ./ под ред. Ю.В. Прохорова. - М.: Наука, 1991. - 448 с.

7. Леви П. Конкретные проблемы функционального анализа: Пер с франц./ под ред. Е.Е. Шилова. - М.: Наука, 1967. - 346 с.

8. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Элементы функционального анализа. - М.: Наука, 1965.

9. Павленко М. А. Метод формирования признаков информационной модели конфликтных ситуаций для подсистем поддержки принятия решений в перспективных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, Г. С. Степанов, М. В. Касьяненко, В. Н. Руденко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. — 2016. — № 3. — С. 101-103.

10. Scenario approach to the engineering of information models, designed to enable the activities of operator in automated control systems / М.А. Pavlenko, А.І. Tymochko, P.G. Berdnyk, А.С. Shevchenko // Системи обробки інформації. - Вип. 3(128). - Харків: ХУПС, 2015. - С. 32-35.

11. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, М.Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. - No. 5, 2014 (Vol. 49). - Рига: АВТ, 2014. - С. 16-25.

Надійшла до редколегії 22.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.А. Павленко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПОТОКА ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В РАЙОНІ АЕРОПОРТУ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Ю.О. Данілов, Д.М. Обідін, О.О. Тімочко, П.Г. Бердник

У статті проводиться аналіз моделей потоку справжніх відміток, помилкових відміток, нерозв'язних відміток і сумарного потоку істинних і хибних оцінок. Пропозиції щодо вибору моделі траєкторії руху повітряного об'єкта і основні вихідні дані для розробки моделі потоку рухомих повітряних об'єктів для обліку та реалізації можливостей методів обробки радіолокаційної інформації в автоматизованих системах управління повітряним рухом.

**Ключові слова:** щільність повітряних об'єктів, маневр, інформаційне забезпечення, траєкторії повітряних об'єктів, первинна обробка радіолокаційної інформації.

## WORKING MODELS OF AIR FLOW IN THE OBJECTS AIRPORT SYSTEM FOR AIR TRAFFIC CONTROL

Yu.A. Danilov, D.N. Obidin, A.A. Timochko, P.G. Berdnyk

The article analyzes the patterns of flow of the true marks of false marks, stamps and insoluble total flow of true and false marks. Proposals on the choice of model aircraft trajectory of the object and basic data to develop a model of moving air stream objects for accounting and sales opportunities radar information processing methods in automated air traffic control systems.

**Keywords:** density of air objects, maneuver, information provision, the trajectory of air objects, primary processing of radar data.

УДК 502/504(15)

О.А. Машков<sup>1</sup>, В.Ф. Фролов<sup>2</sup><sup>1</sup> Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев<sup>2</sup> ВОО «Аэрокосмическое общество Украины», Киев

## МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА АНТИАСТЕРОИДНОЙ ЗАЩИТЫ ЗЕМЛИ

*В статье предложены пути борьбы с астероидами за счет создания Международной системы антиастероидной защиты Земли, объединяющей в единую информационную систему космодромы мира, космические и наземные комплексы слежения за космическим пространством. Предложен новый боевой модуль ракеты на основе использования энергии синтеза водорода при отсутствии радиоактивных элементов.*

**Ключевые слова:** астероид, вероятность столкновения, техногенно-опасные объекты, ядерный боезаряд, космодромы, боевой модуль, кумулятивная струя

### Введение

Периодически в последнее время в средствах массовой информации появляются статьи о том, что в сторону Земли летит очередной астероид, угрожающий столкновением с нашей планетой. Сегодня можно констатировать тот факт, что земная поверхность усеяна кратерами от прошлых столкновений постоянно падающих мелких астероидов, болидов, и других космических тел. Ведь большая их часть падает в океаны, пустыни, лесные массивы, что затрудняет их наблюдение. К примеру, кратеры от столкновений с космическими телами более видны на поверхности Луны и Марса [1].

Анализ литературы [1, 2] показал, что столкновение Земли с астероидом является событием, происходящим примерно один раз в 100÷300 лет. Однако, последние происходящие события свидетельствуют об обратном. Так в районе города Челябинска упал болид и благодаря тому, что большая его часть разрушилась при вхождении в плотные слои атмосферы, разрушений произошло минимально. Но, это ещё раз подтверждает то что мы, земляне, абсолютно незащитны от источников природного загрязнения околоземного космического пространства, какими являются: астероиды, кометы, метеоритные вещества, болиды, метеороиды, метеориты. Все эти космические тела засорения космического пространства, представляют малые планеты величиной массы до 1000 Гт (1 Гт – миллиард тонн) и раз мерами, некоторых из них, превышающих размеры Солнца. Опасность представляют не только уже зарегистрированные Центром малых планет объекты, но и ещё неизвестные.

Периодически представляемые на конгрессах Международной Федерации астронавтики доклады по антиастероидной проблеме, в сочетании с докладами на международных конференциях, являются важными шагами на пути создания эффективной защиты Земли

[1]. Проблема защиты Земли от астероидов будет существовать столько, сколько будет существовать цивилизация на Земле, а факт столкновения кометы Шумейкер – Леви с Юпитером в июле 1994 года, свидетельствует о том, что малая вероятность столкновения планет Солнечной системы с кометами и астероидами не является гарантией безопасности Земли.

Поэтому **целью настоящей статьи** является поиск путей борьбы с астероидами, путём создания единой Международной системы объединённой в единую информационную систему.

### Основная часть

Международное астрономическое общество разработало шкалу риска (Туринская школа), в которой диапазон опасности столкновения астероида с Землей определяется баллами от одного до десяти. Вероятность столкновения с Землей астероидов, соответствующих одному баллу по этой шкале весьма мала, но за этими астероидами требуется постоянное наблюдение [2]. В табл. 1 приведены названия больших астероидов, даты минимального их сближения с Землей и расстояния до них.

В настоящее время неизвестно, какие космические возмущения могут повлиять на такие астероиды, в недоступной для современных средств наблюдения зоне его полета. И не исключено, что через какой-то промежуток времени траектория полета астероида изменится, а вероятность столкновения с Землей увеличится. Что же из себя представляет астероид?

Астероид (малая планета) – это планетоподобное тело неправильной формы [2]. К ним относятся космические тела размером более 10 метров. Количество наблюдаемых астероидов превышает сотни тысяч. Размеры колеблются в диапазоне от 10 м до 1000 км. Вблизи Земли астероиды двигаются со скоростью 12 – 20 км/сек, владея при этом гигантским запасом кинетической энергии [2].

Таблица 1

## Большие астероиды

Название	Дата минимального сближения	Расстояние млн. км
1988EG	29.02.1998	4,8
1991GX	10.06.1999	5,13
4486Mithre	14.08.2000	7
4660Nereus	23.01.2002	4,4
1991JX	01.06.2003	4,7
4179Toutatis	30.09.2004	1,5
1992UY4	08.08.2005	6
4450Pan	20.02.2008	6
4179Toutatis	12.12.2012	6,9
2349Hathor	22.10.2014	7,23
5604 1992FE	24.02.2017	5
3122Florence	02.09.2017	7
1989UP	04.11.2017	7

Первый астероид Церера открыл итальянский астроном Джузеппе Пиацца 1 января 1801 года, а к 1 января 1901 года их число уже составило 463. Более 95% известных астероидов находятся в главном поясе астероидов между орбитами Марса и Юпитера. Несколько «роёв» астероидов вращаются между орбитами Марса и Венеры. Движение их абсолютно хаотично, а подобные хаотические движения приводят к падению их на Юпитер или Солнце, а также выбросом за пределы Солнечной системы. По составу – это каменно – ледяные глыбы неправильной формы, которые образуются при столкновении обломков комет. Общее число этих осколков превышает 400 тысяч. Ближе всего к Земле находятся «рои» околоземных астероидов типа Амур, Аполлон, Атон, которые периодически сближаются с Землей. Это вызывает обеспокоенность ученых и тот факт, что соударение с Землей может вызвать глобальные катастрофы не только на уровне государства, материка, но и всей планеты Земля, учитывая что на Земле расположено огромное количество техногенно – опасных объектов (атомные станции, гидросооружения, дамбы, склады боеприпасов и т.д.) [3].

Существует несколько астероидов, для которых существует вероятность столкновения с Землей в ближайшие 100 лет, а их размеры достаточно велики, чтобы вызвать региональную катастрофу. Это астероид Апофис и астероид 2007VK184. Оба потенциально опасны для Земли. Апофис имеет массу 100 млн тонн и диаметр 400 м. По прогнозам, Апофис пройдет 13 апреля 2029 года возле Земли на расстоянии 38000 +/- 3000 км, т.е. чуть ниже высоты полета геостационарных спутников Земли. Астероиды, соответствующие 8-ми баллам по Туринской шкале, столкнутся с Землей, если к тому времени не будет создана система предотвращения этого столкновения. Конгресс США поставил специальную задачу NASA выявить 90% опасных астероидов, диаметр которых превышает 1 км.

В последние годы многие научные и проектно-конструкторские организации откликнулись на обращение международной конференции (SPE 94). Иссле-

дования по созданию комплексов обнаружения и идентификации опасных астероидов, а также по разработке способов и средств предотвращения столкновения с Землей ведутся в США, Великобритании, России и других развитых странах. Участвует в этих исследованиях и Украина. В частности, цикл поисковых работ по проектированию ракетно-космических комплексов, являющихся звеном в средствах защиты от астероидов, проводились в ГКБ «Южное». Суть многих проектов сводится к обнаружению астероида, опасно приближающегося к Земле, определения его массы, траектории и пуска в его сторону ракеты с ядерным боезарядом. Целесообразно объединение усилий всех стран, членов космического клуба, имеющих мощные астрономические обсерватории, радиолокационные системы, оптические системы и наземные комплексы на космодромах для создания Международной системы антиастероидной защиты Земли. Структурно данная система показана на рис. 1.



Рис. 1. Структура системы

Алгоритм реализации защиты Земли и данной системы состоит в следующем: основные крупные астрономические обсерватории мира, радиолокационные и оптические системы наблюдения за космическим пространством объединены в единую информационную систему; действующие космодромы мира (на сегодня насчитывается 15), объединены информационно также в одну систему и получают информацию о массе, траектории, скорости приближения астероида от средств слежения за космическим пространством.

Эти же данные поступают в объединенные ракетно-артиллерийские полигоны. Так как почти каждая страна, член космического клуба, имеет испытательные полигоны (в США их 2: Западный и Восточный), на их площадках необходимо иметь стартовый комплекс для пуска ракет в направлении приближающегося астероида. В случае, если астероид прошел первый эшелон или не до конца разрушен, и приближается к Земле – дается команда на пуск наземных ракетно-артиллерийских комплексов. Важным в данной системе является вид заряда ракеты. Если ранее предполагалось оснащение боеголовки ядерным зарядом (что по моему глубокому убеждению опасно и антигуманно по отношению к месту падения обломков астероида), то мне бы хотелось

предложить боевой модуль на основе использования энергии синтеза водорода, отличающий его от термоядерного заряда тем, что в нём отсутствует устройство расщепления ядра и, соответственно, это отсутствие радиоактивных элементов. Условия инициирования реакции синтеза водорода (критерий Лоусона) в таких антиастероидных боеголовках обеспечивается в фокусе встречи кумулятивных струй, которые формируются при столкновении боеголовки с астероидом со скоростями порядка 100 км/сек. Такие скорости реальны при столкновениях заряда и астероида [1]. Уникальность этого метода состоит в том, что он не эффективен для военного применения. Это объясняется следующими факторами: отсутствует встречный объект, астероид с огромной массой, летящий со скоростью 100 км/сек, который инициирует процесс синтеза легких элементов; в процессе вывода на встречную траекторию к астероиду, боеголовка воздействия удалится от Земли на огромные расстояния; время, необходимое для разгона боевого модуля (боеголовки), в сотни тысяч раз больше времени боеготовности современных комплексов современных комплексов стратегического оружия.

Это обстоятельство позволяет надеяться на международное сотрудничество в создании такой боеголовки, поскольку в ней нет предпосылок, которые могли бы усложнить процесс разоружения, борьбу с терроризмом или ограничение распространения оружия массового поражения. Украина имеет достаточный научный потенциал в исследовании синтеза водорода и могла бы стать достойным участником данного проекта. Точка старта ракеты, с того или иного космодрома, будет определяться вероятностью падения астероида в определенную материковую часть суши или мирового океана. Управление и координацию Международной антиастероидной системой Земли, по моему мнению, должен осуществлять Центр защиты Земли. Созданный в 1993 году, он ежегодно проводит весной четырехдневные сессии, на которых присутствует более 100 специалистов из 12 стран членов комитета. Руководящая группа состоит из 12 глав национальных делегаций, которая каждую осень проводит Международный

астронавтический конгресс. Украина является официальным членом этого комитета и активно принимает участие в его работе. Кстати, в руководящих документах комитета предусмотрено создание международной сети обмена данными для случаев неконтролируемого входа в атмосферу астероидов и других крупных космических объектов, создающих угрозу для людей на Земле. Поскольку в настоящее время нет ни одного астероида, который соответствовал бы 2 баллам по Туринской шкале, можно надеяться, что человечество имеет время на разработку системы защиты Земли от астероидов. Никто не знает величины этого времени, а оно может быть и отдаленным и очень близким.

## Выводы

Таким образом, предложенная концепция создания Международной антиастероидной системы защиты Земли позволит обеспечить её безопасность и предотвратить возможность столкновения нашей планеты с очень опасными естественными источниками загрязнения, какими являются астероиды. Форма и степень участия стран – членов космического клуба, а также организационно-правовые нормы могут быть обговорены на очередной сессии Межагентского комитета по космическому мусору при ООН.

## Список литературы

1. Конюхов С.Н. О проблеме защиты Земли от столкновения с астероидами / С.Н. Конюхов, Н.И. Слюняев // *Аэрокосмический вестник «Спейс – информ»*. – 2004. – № 43 (183). – С. 30-32.
2. Техногенное засорение околоземного космического пространства / [А.П. Алпатов, В.П. Басс, С.А. Баулин и др.]; – Днепропетровск : Пороги, 2012. – 378 с.
3. Жигун Л. Об экологической опасности космической деятельности / Л. Жигун, В. Фролов // *Арсенал XXI столетия*. – 2002. – № 1. – С. 63-66.

Надійшла до редколегії 24.05.2016

**Рецензент:** д-р ф.-м. наук, с.н.с. В.М. Вашенко, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

## МІЖНАРОДНА СИСТЕМА АНТИАСТЕРОЇДНОГО ЗАХИСТУ ЗЕМЛІ

О.А. Машков, В.Ф. Фролов

*У статті запропонований спосіб боротьби з астероїдами за рахунок створення Міжнародної системи антиастероїдного захисту Землі, яка об'єднує в єдину інформаційну систему всі космодроми світу і всі космічні та наземні системи спостереження за космічним простором. Запропонований новий бойовий модуль ракети на основі застосування енергії синтезу водню при відсутності радіоактивних елементів.*

**Ключові слова:** астероїд, Туринська шкала, ймовірність зіткнення, техногенно-небезпечні об'єкти, ядерний боезаряд, космодроми, бойовий модуль, кумулятивний струмінь.

## THE INTERNATIONAL SYSTEM OF ANTI-ASTEROID PROTECTION OF THE EARTH

O.A. Mashkov, V.F. Frolov

*This article proposes a way of dealing with asteroids due to the establishment of the international system of anti-asteroid protection of the Earth, combining all the launch sites of the world and all the space and ground-based tracking system for outer space into a single information system. The article also proposes a new combat module rocket based on use of fusion energy of hydrogen in the absence of radioactive elements.*

**Keywords:** asteroid, Torino scale, probability of collision, technogenic-hazardous objects, nuclear warhead, launch sites, combat module, cumulative jet.

UDC 629.7.062.2

S.P. Fryz

S. Korolev Zhytomyr Military Institute, Zhytomyr

## MORE ABOUT THE PROBLEM OF OPERATIONAL PROCESS IN SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

*The article presents methodological background research results for operational process control in satellite telecommunication systems with limited onboard resources.*

**Keywords:** *satellite information-telecommunication system, planning strip delight.*

### Review of Recent Research and Publications

Among the objectives set by Ukrainian National Special Scientific and Technical Space Program for 2013-2017 and the Concept of State Space Policy developed for the period until 2032 [1, 2] the overriding priority status has been given to the development of space technologies and their integration into the real national economy sector and national security and defense areas as regards remote sensing and improvement of space systems (SS) providing telecommunication, navigation as well as to the other space information systems (SIS). Any SS may be characterized by presence of a space segment in its structure, i.e. orbital support facilities integrated into one or more spacecraft (SC). With regard to SIS the spacecraft performs a role of a carrier for **information system** hardware, i.e. special onboard equipment (SOE) providing collection and generation of target information (TI). It can include electrooptic devices, radars, scanners, sensors, photo and television equipment, repeaters, transmitters, receivers, antenna systems, etc.

Furthermore, any SIS shall include a telecommunication system (TCS) as its essential element providing information exchange between the orbital and the ground facilities.

Because of diversity of SIS and their tasks (observation, monitoring, detection, identification, data collection and data transfer, survey, communication, etc.), we shall use a unifying term "attendance" of surface facilities (SF), where possible for the sake of brevity.

In this article, for clearness purposes, we shall only deal with observation space systems (OSS) representing complex satellite TCS which provide special information of national and international significance. For OSS the term SF "attendance" shall primarily mean collecting information from specified land areas and monitoring facilities and its transfer to surface facilities.

Electromagnetic rays (EMR) which are formed or reflected from SF in the optical and / or radio frequency are the primary information sources for any OSS. Depending on the information source and the method of

information receipt we shall distinguish the following OSS: electrooptic observation systems (EOOS) radar observation systems (ROS) photographic observation systems (POS), etc.

Such OSS have specific elements, i.e. **orbiting vehicles** placed *away* from the ground facilities, *distributed* in space and time, moving *continuously*, with *limited* onboard resources, operating in *difficult conditions* of outer space.

SC carry optical and / or radio SOE, whose main function is review of specified areas and / or monitored objects, collection of EMR, generation and transmission of TI to the Earth. SC used for this purpose provides global and continuous observations cover large areas, high speed, invulnerability of facilities etc.

At the same time SC make OSS a complex telecommunication system, requires considerable financial costs for its development and operation and outer space as the environment requires special arrangements to ensure high reliability, survivability and noise immunity of space vehicles.

Besides SOE SC have a *control* system, support and auxiliary systems, which are usually joined into onboard information, control, security, support and other complexes. Similar complexes are to be identified within OSS ground facilities. The interaction of the above onboard and ground systems is implemented via satellite TCS which elements can be constructively distributed in the specified complexes.

Such TCS include *auxiliary information* in addition to main information, i.e. target information transmitted from the spacecraft to the ground by *radio* "air-to-earth." The information contains data about position of the spacecraft in time and in space, their technical condition, operation modes, onboard resources and provides synchronization of onboard and ground facilities.

Additionally, from the results of information processing command information shall be generated and transferred to the spacecraft via *radio* "air-to-earth" in the form of *control* programs and commands. Ultimately, the flows of command and supporting information shall provide receipt of required TI in respect of its *composition, volume and quality*.

Traditionally OSS are mostly used to fulfill a **scheduled program**, when TI users request observation of particular areas of the Earth in advance, and the system control center (SCC) plans the work of orbital and land devices, makes an appropriate spacecraft control program (SCP) and consistently implements it within a scheduled time.

For this purpose, SCC takes into consideration a supposed position of the spacecraft in time and space at the moment of survey, though without any influence thereon due to objective laws of orbital motion.

In other words, SCC shall be forced to a significant degree to *adapt* to the available mutual position of the SC and the observed SF. This results in mostly episodic, irregular observation sessions in respect to the same SF.

In the existing and projected SS designed for detailed observation this problem is slightly compensated by designed spacecraft angle maneuvers. However, this requires rational planning of space observation routes.

Meanwhile, as the experience of recent events in the world shows, OSS can be one of the main sources of information to address **operational challenges**, i.e. tasks which must be performed instantly or within a limited time period any time of the year and day in the interests of defense, security, prevention of man-made disasters, crises and emergencies.

**Problem Statement.** Consequently, there is a fundamental **discrepancy** between OSS's *normal operation capabilities* and *special requirements* of customers ordering operational observations of specified SF.

In this case, a problem of space observation process control for **quick receipt** of TI with limited onboard resources appears. Currently, Ukraine can use its own, foreign and combined (own and foreign) OSS to receive TI. These "combined" systems (in the sense of *integral use of information*) shall be appropriate considering the limited financial, economic and technical capabilities of Ukraine. In these circumstances, when promptness is a requirement, the space observation control problem is divided into two components:

- a) The problem of *efficient control* of domestic orbital spacecraft;
- b) The problem of *rational choice* of suitable foreign OSS.

**Research Task. The Purpose of the Article.** To solve these problems we suggest to (Fig. 1):

1. Analyse the existing technology, the theory and practice of process control in satellite and telecommunication systems, and, based upon results, choose rational solutions for above problems.

2. Develop a versatile alphabet for a formalized description the status of orbital and ground OSS devices and the processes occurring in them, and based thereupon, synthesize a number of relevant models with their in-service program.

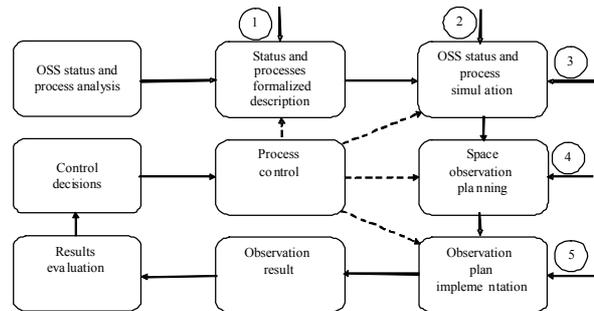


Fig. 1. Space observation process control: 1—scientific methodological tool; 2—software; 3 – order; 4 – restrictions; 5 – external and internal factors

3. Based on the orders from TI users, simulate the process of space observations of the target areas and / or facilities with application of domestic and foreign OSS.

4. Make a plan of space observations based upon the simulation results with the organizational, technical, financial and other restrictions for a specific situation.

5. Implement the plan taking into account predictable and unpredictable external and internal factors and to assess the quality of the received results.

6. If necessary, adopt and implement the required decisions regarding control over the devices and processes occurring in them, including correction of the formalized description, synthesized models and their in-service program, methodological background for planning and implementation of the plans.

### Presentation of Basic Material of Research

In the context of the above, the author of the article offers a number of approaches to process control in telecommunication satellite systems in addressing operational challenges. In particular, as shown in the analysis, the organization of process control should be based upon the basic requirements for OSS, i.e. prompt receipt of maximum useful TI of desired quality within a scheduled time of the day and the year from the specified areas of the Earth with minimum resource expenditures and with affordable costs. Therefore, it is advisable to switch from the traditional control of OSS devices to processes control within the system (the process approach). This means that the main control objective shall be more receipt of TI with required contents and quality than ensuring the proper functioning of orbital and ground devices fulfilling scheduled program. With this approach in mind, we could allow some deviation of individual parameters in OSS technical devices from requirements and of SC location in time and space from normal orbit parameters, etc.

In this case, in order to promptly fulfill operational tasks we can: use both our own and available foreign spacecraft; redirect SC to required SF using angular maneuvers; use TI received during non-standard OSS functioning; use TI from the archive and other spacecraft; adjust own SC through the orbit correction, etc.

Additionally, the term "observation process control" should include not only the operations directly influencing the process (simulation, planning, SCP tailoring and implementation, and monitoring of the results), but selection, ordering, purchasing and other operations as well.

Such a broad interpretation of the control process is essential because of the use of TI from foreign OSS and the need to parry negative impact caused by external factors on the quality of the TI.

As concerns the formalized description of the status and the processes in OSS (see. Fig. 1), the author's articles [3, 4] further develop TCS processes formalization method as a basic one for further simulation. It is based upon a set-theoretic approach with integral use of analytical, logical and logical and analytical functions and their geometrical interpretation.

To this end, we have developed a corresponding alphabet, which includes both individual designations and logical, analytical, and logical and analytical dependences describing processes of ordering, planning, monitoring and generation of TI and its transmission, device and process control, status of orbital and ground devices, external and internal conditions of their operation, actions and decisions taken by support staff, and also customers and users of TI.

The formalization is based upon a mathematical tool of the set theory, combinatorial analysis, ambiguous and multiple-valued logic. Spatio-temporal phenomena in OSS are formalized using the SC flight theory, and the process of TI receipt is formalized based upon the information theory.

Based on the formalized description, we offer a number of generalized models enabling receipt of TI. One of these models is shown in Fig. 2.

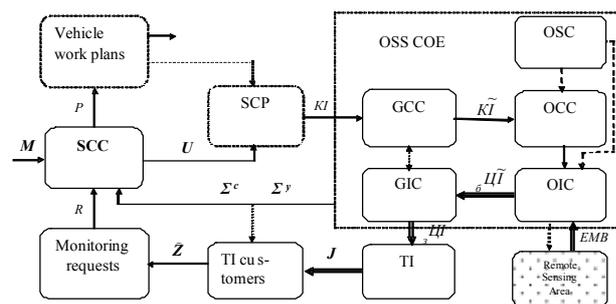


Fig. 2. Model of the process of TI receipt in OSS

As you see in Fig. 2, customers relying on the available information solutions, predict their needs in the target information  $\mathbf{J}^h = \{J_e^h\}, e = \overline{1, E}$  and taking into consideration data capabilities of OSS  $\mathbf{J}^m = \{J_j^m\}, j = \overline{1, J}$  submit corresponding requests for survey of specified areas  $\tilde{\mathbf{Z}} = \{\tilde{Z}_u\}, u = \overline{1, U}$ .

Meanwhile, one request may have orders to monitor several areas from several types of SC in several SOE modes within several time intervals, etc. So, generally such a request may be formally written as a compound set:

$$\tilde{\mathbf{Z}}_{io} = \left\{ \begin{array}{l} \{Z_u\}, \{\gamma_u^Z\}, \{d_3\}, \{P_m\}, \{\gamma_m^P\}, \{K_r\}, \\ \{B_z\}, \{C_i\}, \{\alpha_s\}, \{X_\beta\}, \{C_u^\Pi\} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

where arguments are subsets: customers  $\{Z_u\}$  and their priorities  $\{\gamma_u^Z\}$ ; specified monitoring dates  $\{d_3\}$ ; specified areas  $\{P_m\}$  and their priorities  $\{\gamma_m^P\}$ ; SC types or numbers  $\{K_r\}$ ; SOE types  $\{B_z\}$ ; monitoring modes  $\{C_i\}$ ; permissible elevation of the Sun  $\alpha_s$ ; cloud cover over the area  $\{X_\beta\}$ ; preferential PPI  $\{C_u^\Pi\}$ .

Based on requests received, SCC generates operation plans  $\mathbf{\Pi} = \Pi_u (\{3_\alpha\} \neq \emptyset)$  to use OSS devices during orbit passes  $\mathbf{B} = \{B_n\}, n = \overline{1, N}$  and a respective set of SCP  $\mathbf{U} = \{U_\delta\}, \delta = \overline{1, \Delta}$ , taking into account OSS data capabilities  $\mathbf{J}^m = \{J_{jk}^m\}, k = \overline{1, K}$ , its status

$$\Sigma^c = \{\Sigma_\chi^c\}, \chi = \overline{1, X^c} \text{ and conditions of its functioning } \Sigma^y = \{\Sigma_\chi^y\}, \chi = \overline{1, X^y}.$$

To formalize the processes in TI channels we suggest a process approach with application of base characters with an extensive system of indices. An algorithm for TI receipt with application of electrooptic onboard information complexes (OIC) may be an example of such an approach:

$$\begin{aligned} & {}_3\text{EMB}_*^* \rightarrow {}_{3c}\text{EMB}_*^* \rightarrow {}_6\text{EMB}_*^+ \rightarrow {}_6^a\text{II}_*^+ \\ & \rightarrow {}_6^u\text{II}_*^+ \rightarrow {}_6^k\text{II}_*^+ \rightarrow {}_6^k\text{II}_*^+ \rightarrow {}_{6c}^k\text{II}_*^+ \end{aligned}, \quad (2)$$

where  ${}_3\text{EMB}_*^*, {}_{3c}\text{EMB}_*^*$  are mixtures of useful, useless and interfering EMR in optical and radio frequencies on the Earth in Cp1 environment;

${}_6\text{EMB}_*^+ = \{ {}_6\text{EMB}_0^+ \vee {}_6\text{EMB}_p^+ \}$  is useful EMR in optical and/or radio frequencies on board the SC;

${}_6^a\text{II}_*^+, {}_6^u\text{II}_*^+, {}_6^k\text{II}_*^+$  is useful TI in the form of analog, digital signals and data frames generated on board the SC from useful EMR;

${}_{6c}^k\text{II}_*^+$  is useful TI in the form of digital radio signals, transmitted from the SC into Cp2 environment.

For formalized description of TI receipt conditions we have proposed a logical function (LF) system. For example, suppose you must formally describe the process of TI receipt in observations of m-area conducted by EOOS devices in n- orbit pass. Let's introduce LF for the

status of the devices and conditions of their functioning, i.e. of OSS orbital devices  $\Phi_m^n(O)$ , optical visibility of the areas from the SC  $\Phi_m^n(F^\lambda)$ , radio coverage of surface facilities from SC  $\Phi_m^n(F^f)$ , astronomical and ballistic conditions  $\Phi_m^n(A)$  and the status of surface facilities  $\Phi_m^n(H)$ . Then the objective conditions in respect to SCC for TI receipt may be described by the following double-valued LF:

$$\Phi_m^n(\Sigma) = \begin{cases} 1, & \text{if } \Phi(O) \wedge \Phi(F^\lambda) \wedge \Phi(A) \wedge \\ & \wedge \Phi(F^f) \wedge \Phi(H) = 1; \\ 0, & \text{if } \Phi(O) \wedge \Phi(F^\lambda) \wedge \Phi(A) \wedge \\ & \wedge \Phi(F^f) \wedge \Phi(H) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

If  $\Phi_m^n(\Sigma) = 1$ , then the common operating environment (COE) is favorable and the SC can fully fulfill its mission with desired quality. On the contrary, when  $\Phi_m^n(\Sigma) = 0$ , it is considered that OSS can't fulfill its mission with required quality of TI due to objective reasons. Other components in the expression (3) shall be described similarly. LF used to describe processes and phenomena provides a transition from the absolute value scale variables to the normal non-dimensional value scale. This LF property proves to be convenient in solving comparative analysis tasks, in optimization, and in taking technical, managerial and organizational decisions.

The author's articles [4, 5] further develop a method predicting controllability of the specified SF by space vehicles. It differs from the known methods by integrated account of the orbital parameters of a spacecraft, non-sphericity of the Earth, technical specifications of SOE in the calculations of the Earth monitoring parameters and the original visibility function for specified SF.

Simultaneously, the author considers peculiarities of SF attendance by space vehicles, when there are objective suspension time intervals due to the peculiarities of the orbital motion of the SC in respect to the rotating Earth. In this case, SOE swath consistently moves uncontrolled on the Earth's surface, reaching SF selectively. Regarding the above, there appears an urgent task to predict controllability of specified SF for practical planning of operational services.

In [4] we offer to define the conditions for controllability of any observation area by a function of visibility of the area from a spacecraft in  $\pi$ -orbit pass (Fig. 3):

$$\Phi_p(\pi) = \begin{cases} 1, & \text{if } (\lambda_o^\pi \leq \lambda_p^\pi) \wedge (\lambda_o^\pi \geq \lambda_p^\pi) = 1; \\ 0, & \text{if } (\lambda_o^\pi \leq \lambda_p^\pi) \wedge (\lambda_o^\pi \geq \lambda_p^\pi) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

where  $\lambda_o^\pi$  and  $\lambda_p^\pi$  are geographic longitudes of the left and right swath edges with relation to the sight axis;

$\lambda_p^\pi$  and  $\lambda_o^\pi$  are geographic longitude of the left and right area boundaries with relation to the sight axis.

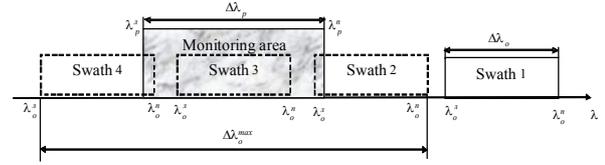


Fig. 3. SC swath covering the area

The area is under control, if  $\Phi_p(\pi) = 1$ , and is not controlled, if  $\Phi_p(\pi) = 0$ . If it is necessary to determine not only the facts but also the degree of controllability of a specified area, we can use one-dimensional swath "coverage" ratio of the area.

For example, in the situation shown in Fig. 3, this ratio can be found as relations of geographical latitude of the controlled part of the area to its full geographic latitude, which shall be appropriately described by a logical analytical function (LAF)

$$K_H = \begin{cases} (\lambda_p^\pi - \lambda_o^\pi) / \Delta\lambda_p, & \\ \text{if } [(\lambda_o^\pi \leq \lambda_p^\pi) \wedge (\lambda_o^\pi \geq \lambda_p^\pi)] = 1; & \\ \Delta\lambda_o / \Delta\lambda_p, & \\ \text{if } [(\lambda_o^\pi \geq \lambda_p^\pi) \wedge (\lambda_o^\pi \leq \lambda_p^\pi)] = 1; & \\ (\lambda_p^\pi - \lambda_o^\pi) / \Delta\lambda_p, & \\ \text{if } [(\lambda_o^\pi \leq \lambda_p^\pi) \wedge (\lambda_o^\pi \geq \lambda_p^\pi)] = 1; & \\ 0, & \text{if } [(\lambda_o^\pi > \lambda_p^\pi) \vee (\lambda_o^\pi < \lambda_p^\pi)] = 1. \end{cases} \quad (5)$$

Fig. 4 shows the geometric interpretation of ratio (5) for different relations between the sizes of controlled areas and swath.

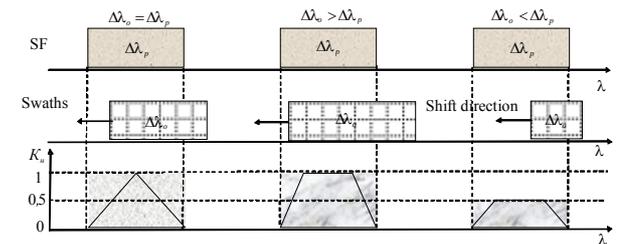


Fig. 4. Concept of one-dimensional coverage ratio

The proposed rate (5) is one-dimensional (contrary to two-dimensional or flat). It may be convenient for selection of relevant SC according to maximum coverage a specified area and planning of operational use of such SC.

In order to provide control over detailed monitoring from space, the author has developed an analytical model for SF attendance [5,6], which takes into consideration SC orbit parameters, technical specifications of SOE and the shape of its swath (conical, pyramidal),

off-pointings of SOE sight axis from nadir in roll and / or in pitch and various models of the Earth (flat, spherical, ellipsoidal).

For example, let's consider one of the most difficult situations  $\Xi_{122}$  (cone, turn-out in roll, spherical surface of the Earth). Suppose SC swath is a right circular cone with an apex angle  $2\chi$ , SOE sight axis coincides with the height of the cone. Due to corner SC manoeuvre in roll its swath and SOE sight axis are deviated from nadir at an angle  $\eta$ . SC is at an altitude  $H$ . In this case, the projection of the conical swath onto the spherical surface of the Earth shall be transformed into a quadric ovoid surface, i.e. "deformed spherical ellipse" (DSE), whose axes are the globe arcs.

Article [5] provides the following formula for calculations of major DSE axis, which is simultaneously, is SC swath width

$$L_a = R_3 \left\{ \begin{array}{l} \pi - 2\chi - \arccos \left[ \frac{R_3 + H}{R_3} \sin(\chi - \eta) \right] \\ - \arccos \left[ \frac{R_3 + H}{R_3} \sin(\chi + \eta) \right] \end{array} \right\}, \quad (6)$$

where  $R_3 = 6371$  km is the average radius of the Earth.

Minor DSE axis shall be the arc

$$L_b \approx 2R_3 \left[ 0,5\pi - \chi - \arccos \left( \frac{R_3 + H_\eta}{R_3} \sin \chi \right) \right], \quad (7)$$

where  $H_\eta = KA_2 = H/\cos \eta$  is distorted due to SC "height" roll.

Using the obtained results, we can roughly calculate the swath projection area considering expressions (6) and (7) as

$$S_{122} \approx 0,5\pi L_a L_b, \quad (8)$$

We can calculate the area surveyed from circular or nearly circular orbits within the observation time  $\Delta t_{\text{сн}}$  as

$$S_{\text{сн}} \approx S_{122} + \frac{L_a R_3 \sqrt{\mu_0 / (R_3 + H)}}{R_3 + H} \Delta t_{\text{сн}}, \quad (9)$$

where  $\mu_0 = 3,986 \cdot 10^5 \text{ km}^3 / \text{s}^2$  is a gravitational parameter of the Earth;

When the field of vision of SC turns away from nadir in roll by an angle  $\eta$ , the SC swath width on the Earth's surface shall be as follows:

$$L_{3\text{XB}} \approx L_a + 2L_\eta, \quad (10)$$

where  $L_\eta \approx H \text{tg} \eta$  is a linear distance between the SC tracks and SOE sight axis.

The author's works [7, 8] are devoted to the synthesis of a logic and analytical model of SC angular motion, which allows for qualitative analysis and quantitative evaluation of the influence of angular motion parameters upon the volume and quality of TI. Besides, this model provides practical routes for specified SF

attendance. The model is based upon formalized description of TI receipt processes in OSS and of angular motion control during programmed SC turn maneuvers and SC precession orientation and stabilization.

In these circumstances, the referred stages of spacecraft angular motion shall be described by a logical function including SC program turn angles  $v^{\text{pp}}$  and their errors  $\Delta v^{\text{pp}}$ ; time  $t^{\text{pp}}$  for program retargeting of SC; errors in precision guidance  $\Delta v$  and stabilization of the spacecraft  $\Delta \dot{v} = \dot{v}$ ; time  $t^y$  for SC stabilization after retargeting.

For example, a logical function of SC angular motion quality using a multiple valued logic in one of the channels of the orientation and stabilization system shall be as follows:

$$\Phi(\Psi) = \begin{cases} 1, \text{ if } \Phi(v^{\text{pp}}) \wedge \Phi(\Delta v^{\text{pp}}) \wedge \Phi(t^{\text{pp}}) \wedge \\ \quad \wedge \Phi(\Delta v) \wedge \Phi(\dot{v}) \wedge \Phi(t^y) = 1; \\ \Phi(\zeta)_{\text{min}}, \text{ if } 0 < \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) < 1, \\ \quad \zeta = \{v^{\text{pp}}, \Delta v^{\text{pp}}, t^{\text{pp}}, \Delta v, \dot{v}, t^y\}; \\ 0, \text{ if } \Phi(v^{\text{pp}}) \wedge \Phi(\Delta v^{\text{pp}}) \wedge \Phi(t^{\text{pp}}) \wedge \\ \quad \wedge \Phi(\Delta v) \wedge \Phi(\dot{v}) \wedge \Phi(t^y) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Expression (11) has a rather clear physical meaning, since it combines all the requirements to the orientation and stabilization system itself and SC angular motion control laws in conducting detailed observations. If necessary, each of the factors in the expression (11) can be assigned weighting factor. The arguments of the formula (11) are LAFs with the following meaning:

LAF of potential angular maneuvers  $\Phi(v^{\text{pp}})$  suggests the technical capability of the orientation and stabilization system to provide reorientation of SC field of vision within the specified angles  $v_3^{\text{pp}}$ . It can be defined by the following analytical expressions,  $v_3^{\text{pp}} \geq 0$  (Fig. 5, a).

$$\Phi(v^{\text{pp}}) = \begin{cases} 1, \text{ if } |v_{\text{max}}^{\text{pp}}| = v_3^{\text{pp}}; \\ |v_{\text{max}}^{\text{pp}}| / v_3^{\text{pp}} \text{ if } 0 < |v_{\text{max}}^{\text{pp}}| < v_3^{\text{pp}}; \\ 0, \text{ if } v_{\text{max}}^{\text{pp}} = 0. \end{cases} \quad (12)$$

LAF of SC program turn accuracy  $\Phi(\Delta v^{\text{pp}})$  characterizes the range of angles and absolute errors in their working out by the orientation and stabilization system. If we assume a linear model of TI quality degradation depending from the size of these errors, then this function shall have the form shown in Fig. 5, b, and shall be described by the following analytical expression  $\Delta v_{\text{д}}^{\text{pp}} \geq 0$ :

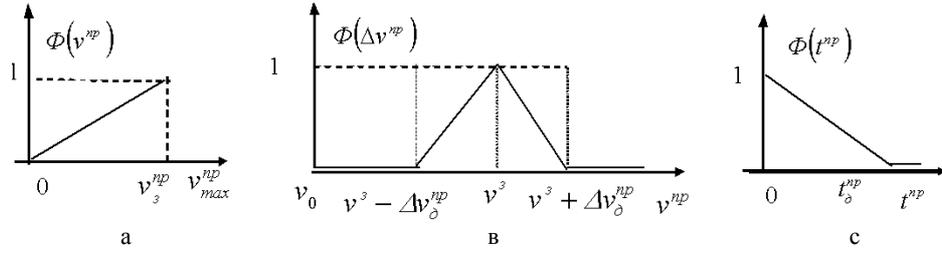


Fig. 5. Functions describing SC retargeting processes

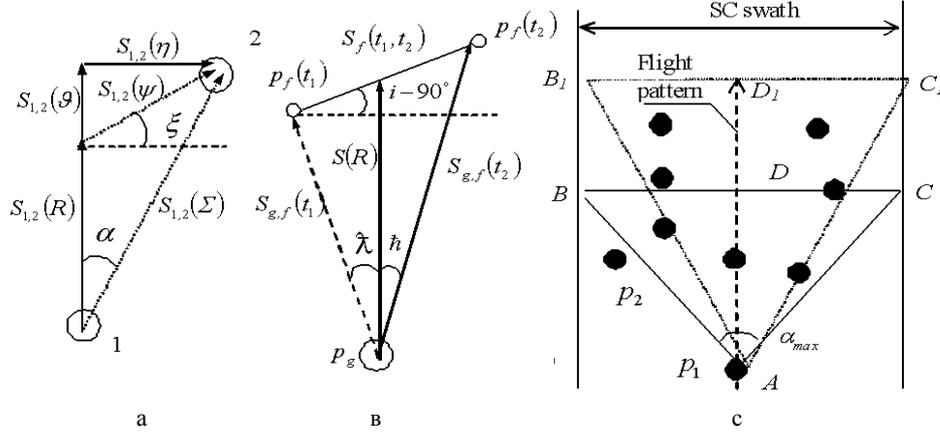


Fig. 6. More about the problem of practical routes generation

$$\Phi(\Delta v^{\text{np}}) = \begin{cases} 1, & \text{if } |\Delta v^{\text{np}}| = |v^{\text{np}} - v^3| = 0; \\ 1 - |v^{\text{np}} - v^3| / \Delta v_{\text{d}}^{\text{np}}, & \text{if } 0 < |\Delta v^{\text{np}}| \leq \Delta v_{\text{d}}^{\text{np}}; \\ 0, & \text{if } |\Delta v^{\text{np}}| = |v^{\text{np}} - v^3| > \Delta v_{\text{d}}^{\text{np}}. \end{cases} \quad (14)$$

LAF of SC program turn time  $\Phi(t^{\text{np}})$  characterizes the speed of the orientation and stabilization system. It shall be described by the following analytical expression (Fig. 5, b):

$$\Phi(t^{\text{np}}) = \begin{cases} 1, & \text{if } t^{\text{np}} = 0; \\ 1 - t^{\text{np}} / t_{\text{d}}^{\text{np}}, & \text{if } 0 < t^{\text{np}} \leq t_{\text{d}}^{\text{np}}; \\ 0, & \text{if } t^{\text{np}} > t_{\text{d}}^{\text{np}}. \end{cases} \quad (15)$$

Regarding the problem of spacecraft motion control in general and angular motion control in particular, there is an objective number of almost independent processes and the task of SCC is mainly to "adjust" them for specified purposes. In these circumstances, there is a need for such a route (pattern) for SOE sight axis, which could best meet most requirements of TI consumers. In order to solve this problem, in [8] we synthesized geometric models for SC field of vision targeting upon the specified SF taking into account the rotation of the Earth (Fig. 6).

Fig.6,a shows a case when it is necessary to retarget a spacecraft from Facility 1 to Facility 2. In these conditions, the result vector of sight axis displacement is expressed through vectors of orbital and angular displacement as the vector sum ( $\bar{S}_{1,2}(R)$ ,  $\bar{S}_{1,2}(\eta)$ ):

$$\bar{S}_{1,2}(\Sigma) = \bar{S}_{1,2}(R) + \bar{S}_{1,2}(\eta). \quad (16)$$

The orbital displacement vector  $\bar{S}_{1,2}(R)$  is characterized by its uncontrollability in this case. Its circular orbit module with an altitude  $H_0$  shall be determined from the linear velocity of the spacecraft  $V_0$  and the orbital flight time interval  $\tau_{1,2}^R$ .

The vector component (6)  $\bar{S}_{1,2}(\eta)$  is controllable. It shall be determined from the angular maneuver time  $\tau_{1,2}^{\eta}$ , the angular velocity of the spacecraft  $\dot{\eta}$  and the orbit altitude  $H_0$ , the first two parameters being controllable.

The module of result vector (6) and the angle of its orientation with regard to SC flight pattern (track angle)  $\alpha$ , which jointly determine a strategy for SOE sight axis retargeting from Facility 1 to 2 shall be written as:

$$S_{1,2}(\Sigma) = \sqrt{S_{1,2}^2(R) + S_{1,2}^2(\eta)}, \quad (17)$$

$$\alpha_{1,2} = \text{arctg} [S_{1,2}(\eta) / S_{1,2}(R)], \quad (18)$$

Dependencies (7) and (8) show that for the circular orbits, successful field of vision retargeting from one SF to another depends on the relative position of these objects and their location relative to the route, as well as on the technical capabilities of the orientation and stabilization system. Angular movements of SF in the SOE field of vision and orbital motion of the spacecraft creates a complex picture of the mutual movements. Therefore there is a fundamental need to control angular motion of the spacecraft.

Based on the obtained results we synthesized a complex model, which takes into account the orbital motion of the spacecraft, orbit inclinations, facility movements due to the Earth's rotation and movements of SOE field of vision due to control of angular motion of the spacecraft. The resulting picture of these processes is shown in Fig. 6, b.

The module of SOE field of vision movement from facility  $p_g$  to facility  $p_f$ , which is located at the latitude  $\phi$ , due to the Earth's rotation during the orbital flight of the spacecraft  $\tau_{1,2}^R = t_2 - t_1$  to facility  $p_f$  shall be determined as (see. Fig. 6, b):

$$S_f(t_1, t_2) = V_s(t_2 - t_1) \cos \phi \sin i. \quad (19)$$

Then the SC angular motion control law shall consider the result vector

$$\bar{S}_{g,f}(t_2) = \bar{S}_{g,f}(t_1) + \bar{S}_f(t_1, t_2), \quad (20)$$

Based on the obtained results, we made a concept for practical attendance of facilities located within the swath of the spacecraft (Fig. 6, b). According to the concept it is advisable to give preference to the facilities that have a higher priority and are closer to the flight pattern of the spacecraft.

In order to divide the specified facilities into objectively suitable (OSO) and objectively unsuitable (OOU) for service, it is good to use an instant service area (ISA), which is part of the swath area shaped as a triangle ABC (Fig. 6, b) becoming further a rectangle with an infinitely remote side  $B'C'$ . This zone moves on the flat surface of the Earth along the route of SOE sight axis at a speed of the ground point (GP). The SF covered by the ISA shall be ascribed to OSO, other objects (for example, SF  $p_2$  in Fig. 6, b) – to the category of OOU. To automate the calculations, we developed an analytical ISA model, which is based on the following approach:

1. According to the formula (8) we can calculate angle  $\alpha_{max}$  provided  $\eta = \eta_{max}$ , angle  $\alpha_{max}$  being determined from interrelation of linear speeds in roll  $\dot{\eta}$  in  $V_0$  orbit, i.e. from the dynamics of SOE sight axis movements:

$$\alpha_{max} = \arctg [H_0 \dot{\eta} / V_0]. \quad (21)$$

2. Based upon specified angular positions of separate SF  $p_g$  and  $p_f$  we shall calculate corresponding route angles  $\alpha_{g,f}$  according to the formula:

$$\alpha_{g,f} = \arctg \left[ \frac{S_{g,f}(\eta)}{S_{g,f}(R)} \right] = \arctg \left[ \frac{\alpha_{max} \tau_{g,f}^{\eta}}{\tau_{g,f}^R} \right]. \quad (22)$$

3. By comparing route angles of separate SF (22) with maximum angle (21), we can ascribe correspondent facilities to OSO or OOU according to the rule:

$$\mathfrak{R}_f = \begin{cases} p^+, & \text{if } |\alpha_{g,f}| < \alpha_{max}; \\ p^0, & \text{if } \alpha_{g,f} = \alpha_{max}; \\ p^-, & \text{if } |\alpha_{g,f}| > \alpha_{max}, \end{cases} \quad (23)$$

where  $p^0$  is a subset of objects located on the interface (on the lines AB and AC in Fig. 6, b).

To develop possible routes for OSO attendance considering the introduced restrictions and "cutting back" of the specified objects according to the rule (13) we can use a direct enumeration method.

In order to provide the ability to select practical routes from the resulting set of rational routes, we have introduced several significant choice criteria, and based thereon, we've done multi-criteria decision optimization. For this purpose, we've used a nonlinear compromise scheme

$$Y(\lambda, K) = \sum_{i=1}^I \lambda_i \left[ 1 - K_i(\mathfrak{R}_\mu) \right]^{-1}; \quad \sum_{i=1}^I \lambda_i = 1, \lambda_i \geq 0, \quad (24)$$

where  $\lambda_i = \text{const}$  components of the importance are vector for  $\Lambda$  optimization criteria;  $K_i(\mathfrak{R}_\mu)$  are standard route optimization criteria.

Based on the proposed concept for practical facility attendance, the following optimization criteria have been selected:

a) Total priority of SF in  $\mu$  route. Obviously, the routes with  $\Sigma \gamma_f(\mu) \rightarrow \max$  or a correspondent standardized criterion  $K_\gamma(\mu) \rightarrow 1$  will be the best.

b) sum of track angles on the specified route

$$\Sigma \alpha(\mu) = \sum_{f=g}^{F^\mu} |\alpha_{g,f}(\mu)|.$$

This criterion characterizes the degree of deviation of SOE sight axis track on this route from the spacecraft flight pattern. Smaller criterion values indicate less energy consumption during SC retargeting and better TI quality. Therefore, it is advisable to choose routes, where  $\Sigma |\alpha(\mu)| \rightarrow \min$  or a correspondent criterion  $K_\alpha \rightarrow 0$ .

A contraction formula for practical application according to above criteria shall be as follows:

$$Y(\mu) = \frac{\lambda_\gamma}{K_\gamma(\mu)} + \frac{\lambda_\alpha}{1 - K_\alpha(\mu)}, \quad \sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1, \quad i = \gamma, \alpha. \quad (25)$$

For convenient comparison and choice of best solutions we advise to use standardized contraction values  $\hat{Y}(\mu) = Y(\mu) / Y_{max}, 0 \leq \hat{Y}(\mu) \leq 1, Y_{max} = \max Y(\mu).$  (26)

Minimum standardized contraction values (16) shall be a criterion for selection of practical route for attending specified SF, and an algorithm for such routes can be formally presented as follows:

$$\tilde{\mathfrak{R}}_{\mu}^p(f) = \underset{\mu=1, M}{opt} \hat{Y}_f(\mu) = \arg \min_{\mu=1, M} \hat{Y}_f(\mu). \quad (27)$$

Besides the results summarized above, the author has obtained some other results as well.

For example, in [9] he developed a method for adaptive setting of the attendance area coordinates, which, in contrast to the known method accounts for the geometric shape of the area and the position of the projected SOE swath at the time of survey, allowing economical use of the informational resource of the satellite TCS. In [10] the author improved the method of SF attendance without SC retargeting. It provides retrieval of maximum performance function on the progressive development of orbit enabling to improve information content of space images at the stage of operational planning.

In [11, 12] the author developed methods for TI receipt by ground devices of satellite TCS in low power capacity of the information radio line and the initial vagueness of signal structure.

Generally, the obtained results enable to improve up to a point the efficiency of space-based observation control with regard to the necessary requirement to ensure the requisite speed in attending specified SF.

### Literature

1. *Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки, затверджена Законом України від 5 вересня 2013 року № 439-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>.*
2. *Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. № 238-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua>.*
3. Фриз С.П. *Формалізований опис просторово-часового положення космічних апаратів у прикладних задачах* / С.П. Фриз // *Вісник ЖДТУ: технічні науки.* – Житомир. – 2012. – № 4 (63). – С. 128 – 134.
4. Фриз С.П. *Можливий підхід до прогнозування контрольованості заданих районів Землі в задачах планування космічних спостережень* / С.П. Фриз // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Житомир: ЖВІ ДУТ.* – 2014. – вип. 9. – С. 183 – 192.

5. Фриз С.П. *Систематизований математичний апарат для розрахунків розмірів контрольованих ділянок земної поверхні в задачах космічних спостережень конічною зоною огляду при її відворотах від надиру по крену* / С.П. Фриз // *Вісник ЖДТУ: технічні науки.* – Житомир. – 2013. – № 1 (64). – С. 100 – 109.

6. Фриз С.П. *Науково-методичний апарат для розрахунків параметрів землеогляду у завданнях детальних космічних спостережень* / С.П. Фриз // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Житомир: ЖВІ НАУ.* – 2013. – вип. 8. – С. 149 – 161.

7. Фриз С.П. *Технологія моделювання кутового руху космічних апаратів спостереження Землі в інтересах вирішення оперативних завдань* / С.П. Фриз // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України.* – Х.: ХУПС, 2013. – вип. 1(10). – С. 209 – 213.

8. Фриз С.П. *Метод формування раціональних маршрутів детального спостереження заданих об'єктів у супутникових інформаційно-телекомунікаційних системах* / С.П. Фриз // *Системи управління, навігації і зв'язку.* – Полтава: Полт НТУ. – 2013. – № 2(38). – С. 41 – 46.

9. Пат. на корисну модель № 66361 Україна, МПК (2011.01) G01C 11/00. *Спосіб задання координат області спостереження при плануванні косм. знімання* / В.О. Гуменюк, В.В. Петрожалко, С.П. Фриз (Україна) № u 2011 10566; заявл. 31.08.2011; опубл. 26.12.11, Бюл. № 24. – 4 с.

10. Фриз С.П. *Методика розрахунку кута відхилення оптичної осі технічного засобу дистанційного зондування Землі для максимізації площі спостереження заданого району* / В.В. Петрожалко, С.П. Фриз // *Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць.* – К. – 2011. – Вип. 2(18). – С. 29 – 32.

11. Фриз С.П. *Математична модель автоматизованої системи визначення виду модуляції та символної швидкості передачі даних для приймальних систем дистанційного зондування Землі* / О.В. Кальватинський, С.П. Фриз // *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем.* – Житомир: ЖВІ. – 2015. – вип. 11. – С. 87 – 95./

12. Фриз С.П. *Використання синфазних антенних решіток для прийому інформації від космічних апаратів з малим рівнем випромінювання у напрямку приймальної станції* / О.В. Кальватинський, П.П. Топольницький, С.П. Фриз // *Озброєння та військова техніка.* – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України. – 2015. – вип. 3(7). – С. 44 – 51.

Надійшла до редколегії 28.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

### ДО ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ В СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВИРІШЕННІ ОПЕРАТИВНИХ ЗАВДАНЬ

С.П. Фриз

*У статті запропоновані результати розробки методологічних основ управління процесами в супутникових інформаційно-телекомунікаційних системах при вирішенні оперативних завдань в умовах обмежених бортових ресурсів.*

**Ключові слова:** супутникова інформаційно-телекомунікаційна система, смуга огляду, смуга захоплення.

### К ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ В СПУТНИКОВЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ РЕШЕНИИ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ

С.П. Фриз

*В статье представлены результаты разработки методологических основ управления процессами в спутниковых информационно-телекоммуникационных системах при решении оперативных задач в условиях ограниченных бортовых ресурсов.*

**Ключевые слова:** спутниковая информационно-телекоммуникационная система, полоса обзора, полоса захвата.

# ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.314.7

А.Ф. Даниленко<sup>1</sup>, В.В. Скороделов<sup>1</sup>, А.Г. Дьяков<sup>2</sup>, С.Н. Нечаусов

<sup>1</sup> *Национальный технический университет «ХПИ», Харьков*

<sup>2</sup> *Харьковский государственный университет питания и торговли, Харьков*

<sup>2</sup> *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЯМР-СПЕКТРОМЕТРОМ

*Предложено и обосновано подходы повышения качества измерения параметров пищевых продуктов. Наибольшее внимание уделено измерению коэффициента самодиффузии, как одного из основных показателей, что используется при исследованиях пищевых продуктов. Рассмотрены подходы к построению системы управления спектрометром ЯМР. На основе анализа требований к точности измерения параметров обоснована и предложена структура системы управления спектрометром ЯМР с использованием микроконтроллера АРМ.*

**Ключевые слова:** *пищевые продукты, спектрометр, ядерно-магнитный резонанс, самодиффузия.*

### Введение

**Постановка проблемы:** При выполнении исследований свойств пищевых продуктов значительное внимание уделяется методам спектрального анализа. Одним из наиболее применяемых методов является метод ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), который позволяет установить изменение свойств вещества и состояния воды при воздействии на них различных добавок, что дает возможность более целенаправленно изучить влияние пищевых добавок на качественные показатели продуктов путем замены дефицитных и дорогостоящих пищевых добавок импортного производства продукцией, которая широко производится в Украине. Кроме того, применение пищевых добавок дает возможность улучшить качественные показатели продукта, увеличить сроки его хранения. Поэтому данная задача актуальна.

Выходной сигнал ЯМР-спектрометра имеет колоколообразную форму длительность, которого составляет 1 – 2 мс применительно к исследованиям водных структур [1 - 3], а именно такие структуры и подвергаются анализу в пищевых производствах. Величина отклика сигнала спектрометра ЯМР с учетом диффузии имеет вид:

$$A_i = A_0 \exp(-2\tau_i / T_2 - (2/3)\gamma^2 G^2 D \tau_i^3), \quad (1)$$

где  $A_0$  – величина, не зависящая от времени и определяется величиной влагосодержания исследуемого вещества;  $\tau_i$  – интервал времени между зондирующими импульсами спектрометра ЯМР;  $T_2$  – время спин-спиновой релаксации;  $\gamma$  – гиромагнитное отношение;  $G$  – градиент магнитного поля;  $D$  – коэффициент самодиффузии [1, 3].

Произведя анализ соотношения (1), можно увидеть, что при малых значениях интервал времени между зондирующими импульсами  $\tau_i$  вклад диффузии в амплитуду измеряемого сигнала почти не ска-

зывается и определить  $D$  крайне сложно. Вычислить непосредственно коэффициент самодиффузии  $D$  из уравнения (1) представляет определенные трудности, так как точное определение градиента  $G$  крайне сложная задача. Преобразуем уравнение (1) к виду:

$$A_i = A_0 \exp(-K_1 \tau_i - K_2 \tau_i^3), \quad (2)$$

где  $K_1 = -2/T_2$ ;  $K_2 = (2/3)\gamma^2 G^2 D$ , в этом случае можно говорить о величине пропорциональной коэффициенту самодиффузии. Для большинства исследований пищевых продуктов этого достаточно, так как наибольший интерес представляет тенденция изменения коэффициента самодиффузии, а не его абсолютное значение. Исходя из особенностей исследуемых веществ величины  $K_1$  и  $K_2$  имеют следующие ориентировочные значения  $K_1 = 10 - 20$  и  $K_2 = 200 - 400$ . Указанные значения коэффициентов приводят к тому, что при больших значениях амплитуда наблюдаемого сигнала падает и уровень помехи, который можно считать неизменным в процессе измерений, существенно начинает влиять на определение амплитуды измеряемого сигнала.

**Анализ литературы.** Существующие методы повышения точности измерения на спектрометрах ЯМР заключаются в использовании компьютеров не только для обработки результатов измерений, но и для непосредственной фиксации измеряемого сигнала, а так же автоматизации процессов измерения. Имеется параметр, который можно определить на спектрометре ЯМР – это коэффициент самодиффузии. Данный параметр наиболее информативен и непосредственно показывает степень подвижности протонов в веществах. Применение соотношения (2) для определения параметров продукта обосновывается тем, что при малом содержании воды в продукте вторым слагаемым (диффузионной составляющей) можно пренебречь по сравнению с первым, так как коэффициент самодиффузии достаточно

малая величина. Однако при проведении исследований, целью которых является изучение изменения состояния воды в зависимости от ряда добавок, возникают сложности с определением величины  $T_2$  из-за возможного влияния коэффициента самодиффузии. При проведении исследований раствора глицерина было установлено, что при концентрации глицерина в растворе от 40 до 100 % возможно применение формулы (2), а при меньших концентрациях необходимо вычисления вести по формуле (1). На такой характер спада амплитуды эхо-сигнала впервые обратил внимание А. Лёше [2]. Для исключения влияния коэффициента самодиффузии при исследовании маловязких жидкостей необходимо применять очень малые расстояния между зондирующими импульсами, что усложняет техническую реализацию спектрометра ЯМР. Однако Карр и Парсел [3] предложили более удобный способ измерения спада амплитуды эхо-сигнала который заключается в использовании большого числа импульсов следующих друг за другом. Первые два импульса являются обычными зондирующими импульсами, которые поворачивают вектор магнитной индукции на  $90^\circ$  и  $180^\circ$  и затем измеряется амплитуда сигнала эхо. Затем через определенный промежуток времени на образец воздействуют, вновь  $180^\circ$  импульсом и измеряют эхо-сигнал от действия этого импульса. Показано, что в этом случае характер изменения сигнала эхо от величины  $\tau$  определяется следующим соотношением:

$$A(\tau) = A_0 \exp\left(-\frac{\tau}{T_2} - \frac{5}{3}k \frac{\tau^3}{n^2}\right), \quad (3)$$

где  $A(\tau)$  – амплитуда сигнала на выходе измерительной системы спектрометра;  $A_0$  – начальная амплитуда сигнала;  $\tau$  – временной интервал между зондирующими импульсами;  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $n$  – число импульсов.

Из выражения (3) следует, что в этом случае влияние коэффициента самодиффузии можно уменьшить в  $n^2$  раз, если общий интервал времени проведения исследований разделить промежуточными импульсами на  $n$  отрезков. Однако существующую измерительную систему установки ЯМР [4] с учетом её программного обеспечения и технической реализации невозможно модернизировать для реализации соотношения (3). Для её доработки требуется существенное изменение аппаратной и программной составляющей измерительной системы спектрометра и доработки алгоритмов вывода информации на дисплей, так как в ней не предполагалось записи сигналов эхо последовательности импульсов.

На рис. 1 представлены графики изменения относительной погрешности определения начальной амплитуды  $\Delta A_0$ , времени спиновой релаксации  $\Delta T_2$  и величины  $\Delta K_2$ , пропорциональной коэффициенту самодиффузии, в зависимости от ошибки измерения амплитуды  $\Delta A_i$ .

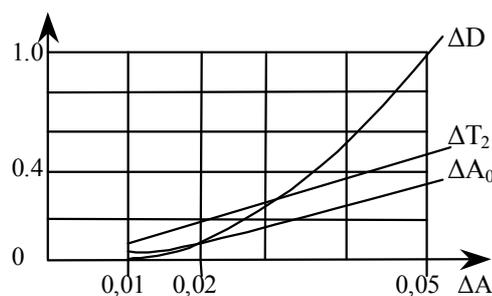


Рис. 1. Графики изменения ошибок от изменения амплитуды

Из графиков следует, что рост ошибок измерения амплитуды вызывают рост погрешности определения параметров  $A_0$ ,  $T_2$  и  $K_2$ .

**Целью данной работы** является совершенствование системы управления спектрометром ЯМР с применением микроконтроллеров АРМ и учетом требований к проведению многократных исследований в пищевых технологиях.

### Структурная реализация

Моделирование системы на базе реальных значений параметров пищевых продуктов показало, что если повысить точность измерения при  $\tau = 0,05$  и  $\tau = 0,06$ , то можно существенно уменьшить ошибку определения параметров. Для уменьшения влияния случайных ошибок использован метод накопления и затем последующего усреднения полученного результата [4]. Приведенный анализ показал, что существенно повысить точность измерений можно увеличением количества измерений для всех значений интервалов зондирующих импульсов, что нецелесообразно, так как существенно возрастет время проведения эксперимента. Применение АЦП с большей разрядностью, может повысить точность измерения, однако снять проблемы связанные с влиянием помехи нельзя. При увеличении числа измерений возникает проблема их автоматизации, так как резко возрастет длительность проведения исследований. При этом, возможно придется решать задачи связанные с дрейфом основных параметров установки ЯМР. Автоматизация процесса измерений должна учитывать ряд последовательно выполняемых действий (учета количества измерений, фиксации полученных результатов, обработка полученной информации и непосредственное управление спектрометром) целесообразно использовать последовательный порт USB или системную шину компьютера, через которые выполняется управление измерительной аппаратурой ЯМР спектрометра.

Важную роль в процессе измерений играет температурный режим. Во многих случаях требуется только регистрировать температуру. Для этого целесообразно использовать для ввода информации о температуре отдельный канал измерения. Поскольку данный параметр меняется относительно медленно, то для передачи данных в персональный компьютер можно использовать последовательный

канал типа USB. Причем для работы с данным портом целесообразно использовать АЦП последовательного приближения, так как частота изменения сигнала не превышает 1 - 10 Гц.

С учетом приведенных доводов целесообразная структурная схема системы управления спектрометром ЯМР имеет вид, представленный на рис. 2.

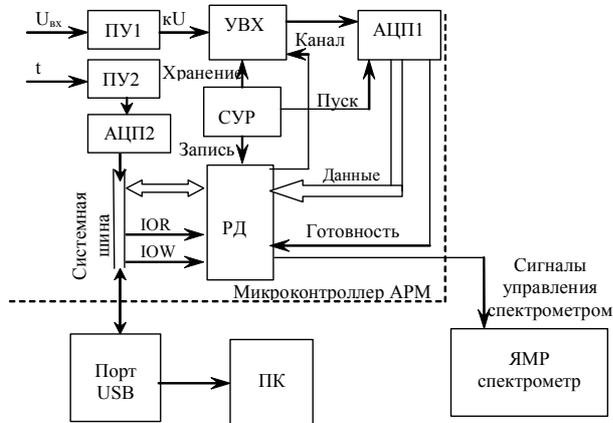


Рис. 2. Структурная схема системы управления спектрометром ЯМР

В данной системе измерительный сигнал поступает на вход предварительного усилителя ПУ1 и после необходимого преобразования в АЦП и поступает на вход устройства выборки-хранения – УВХ, назначение которого состоит в запоминании сигнала на время преобразования сигнала АЦП1. Низкочастотные сигналы (от датчика температуры) через согласующий каскад усиления ПУ2 поступают прямо на АЦП2 и через порт USB и вводятся в персональный компьютер (ПК) [5]. Управление измерительными блоками спектрометра ЯМР осуществляется сигналами микроконтроллера АРМ, параметры которых через порт USB поступают от ПК. Программное обеспечение предлагаемой системы управления состоит из двух основных частей: – программа формирования зондирующих импульсов с применением МК АРМ32 и специального, – программа для предварительной обработки полученной информации, управления спектрометром ЯМР, а

также ведения протокола проведения экспериментов ее документирование. Для реализации данной задачи был применен микроконтроллер АРМ 32, который имеет в своём составе 8 встроенных 12 разрядных АЦП и 6 таймеров. Применение таймеров позволяет значительно сократить расход машинного времени процессора на управление спектрометром ЯМР при формировании зондирующих импульсов и использовать его приема и сохранения получаемых данных при анализе состояния продукта.

## Выводы

На основе анализа предметной области сформулирована постановка задачи к реализации системы управления спектрометром ЯМР. Отмечено, что достижение приемлемой точности определения коэффициента самодиффузии возможно без существенного увеличения общего объема измерений для уменьшения влияния помех на исследуемый сигнал, путем повышения точности измерений при больших  $t$ . Предложена и обоснована структурная схема системы управления спектрометром ЯМР с применением микроконтроллера АРМ 32.

## Список литературы

1. Фаррар Т., Беккер Э. Импульсная Фурье-спектроскопия / – М.: Мир, 1973. – 164 с.
2. Лёше А. Ядерная индукция. Издательство иностранной литературы. М. 1963. 684 с.
3. Carr H.Y. Влияние диффузии на свободную прецессию в опытах по ядерному магнитному резонансу / Carr H.Y., Purcell E.M. Phys Rev., 94, 630 (1954).
4. Даниленко А.Ф. Повышение точности измерений при исследовании продуктов с небольшим влагосодержанием / Даниленко А.Ф., Дьяков А.Г. // Вісник НТУ "ХПИ" Зб. наук. праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання – Х.: НТУ "ХПИ".-2006.- №46. С155-159
5. Олсон Г. Цифровые системы автоматизации процесса управления / Олсон Г., Пиани Д. - СПб.: Невский диалект, 2012. – 254 с.

Надійшла до редколегії 25.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯМР-СПЕКТРОМЕТРОМ

О.Ф. Даниленко, В.В. Скорodelов, О.Г. Дьяков, С.М. Нечаусов

Запропоновано і обґрунтовано підхід для підвищення якості вимірювання параметрів харчових продуктів. Розглянуто підходи до побудови системи управління спектрометром ЯМР. Найбільша увага приділена вимірюванню коефіцієнта самодифузії, як одного з основних показників, що використовується при дослідженнях харчових продуктів. На основі аналізу вимог до точності вимірювання параметрів обґрунтована і запропонована структура системи управління спектрометром ЯМР з використанням мікроконтролера АРМ.

**Ключові слова:** продукти харчування, спектрометр, ядерно-магнітний резонанс, самодифузія.

## CONTROL SYSTEM NMI-SPECTROMETER

A.F. Danilenko, V.V. Skorodelov, A.G. Dyakov, S.V. Nechausov

The approaches to construction of control system to NMR – spectrometer are considered. The most attention is given to the measurement of self-diffusion coefficient as one of principal indices which are used by the research of food products. On the base of the analysis of demands to the precision of parameters' measurement the structural scheme of control system to NMR – spectrometer is grounded and proposed the use ARM microcontroller.

**Keywords:** food products, spectrometer, nuclear-magnetic resonance, self-diffusion.

УДК 62-83.621

Н.В. Єрмілова, С.Г. Кислиця, С.М. Рибка

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ОЦІНКА ЗБУРЮВАЛЬНИХ ВПЛИВІВ В КОНТУРАХ СТРУМУ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗІ АД З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Проведено оцінку збурювальних впливів в контурах струму розробленої системи векторного керування для різних типів регуляторів струму. Оцінка проводилася за такими показниками, як якість та швидкодія перехідного процесу за керуючим впливу, реакція системи на збурювальні впливи, робастність системи регулювання. Визначений тип регулятора з найкращими показниками.

**Ключові слова:** збурювальний вплив, мікропроцесорна система, асинхронний двигун.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Динаміка ємності внутрішнього ринку металопродукції обумовлена змінами основних макропоказників розвитку економіки країни, розвитком машинобудування і металообробки, а також обсягами капіталовкладень. Виробництво метизів є однією з небагатьох експортно-орієнтованих галузей, однак Україна також активно імпортує металовироби, які не виробляються на підприємствах країни. Аналіз стану електрообладнання метизної промисловості показує, що головні електроприводи волочильних станів (ВС) і намотувальних пристроїв (НП) сталевого дроту мають знос до 80%, а використовувані системи електроприводів на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором (АДКЗ) й електромагнітними муфтами ковзання характеризуються вкрай низькою ефективністю і надійністю. Тому підвищення продуктивності праці й зниження енерговитрат в метизній промисловості є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої пов'язане з реконструкцією чи повною заміною систем електроприводів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В створення і розвиток теорії й практики частотно-регульованого асинхронного електроприводу з векторним регулюванням координат значний внесок зробили видатні вчені різних країн [1 – 5]. Аналіз робіт показує на великі перспективи векторного регулювання координат та необхідність продовження досліджень у цьому напрямку.

**Мета статті** – розробка, дослідження та впровадження електроприводів намотувальних пристроїв сталевого дроту по системі перетворювач частоти ПЧ–АДКЗ з мікропроцесорним векторним регулюванням, що забезпечують збільшення продуктивності обладнання, зниження споживання електроенергії, зменшення капітальних витрат і відходів виробництва; дослідження різних типів регуляторів струму та визначення регулятора з найкращими показниками.

### Матеріал і результати дослідження

Для проведення оцінки збурювальних впливів в контурах струму розробленої системи векторного керування була побудована спрощена структурна схема АДКЗ в системі координат  $x$ - $y$ , яка наведена на рис. 1.

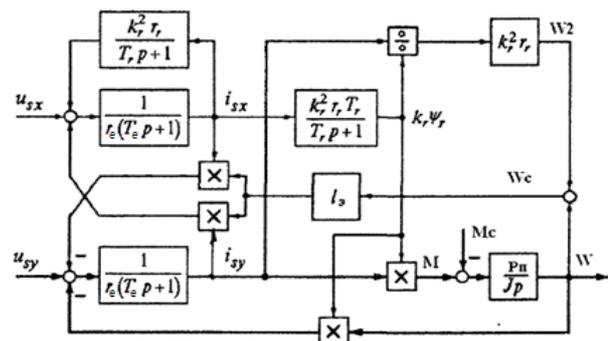


Рис. 1. Структурна схема АДКЗ в системі координат  $x$ - $y$ , яка орієнтована за вектором потокозчеплення ротора

На базі цієї схеми в програмі MATLAB була розроблена математична модель цифрової багатоконтурної системи векторного регулювання CAPvest, що включає в себе: регулятори струму по вісях  $d$  та  $q$ , регулятор потокозчеплення ротора, регулятор швидкості з регульованим статизмом, цифровий задатчик інтенсивності швидкості, блок взаємного обмеження струмів завдання та блок завдання потоку. За допомогою моделі була проведена оцінка збурювальних впливів в контурах струму.

Робота системи регулювання визначається такими показниками, як якість та швидкодія перехідного процесу по керуючому впливу, реакція системи на гасіння збурювальних впливів, робастність системи регулювання. За цими показниками були проаналізовані наступні регулятори струму:

1) пропорційно-інтегральний регулятор з налаштуванням на технічний оптимум (ІІ);

- 2) робастний регулятор з додатковим контуром адаптації;
- 3) двоконтурний (астатичний) регулятор;
- 4) ланцюговий регулятор;
- 5) подвійний регулятор струму.

Типовий ПІ-регулятор з налаштуванням на технічний оптимум має передавальну функцію

$$W_1(s) = \frac{U_{yn}(s)}{U_{ET}(s) - U_{OT}(s)} = \frac{R_E(1 + T_E S)}{2T_\mu K_{OT} K_{\Pi} S}, \quad (1)$$

де  $\psi_T$  – мінімальна постійна часу;  $i_{sy}$  – коефіцієнти зворотного зв'язку по струму та підсилення ПЧ;  $I_N$  – еквівалентний активний опір та постійна часу обмотки роторного ланцюга. За допомогою цієї функції компенсується інерційність якірної або статорної обмотки, та формується по керуючому впливу оптимальний перехідний процес. Робастний регулятор струму відрізняється від ПІ-регулятора додатковим ланцюгом з передавальною функцією

$$W_{22}(s) = \frac{dU_{22}(s)}{U_{OT}(s) - U_1(s)} = \frac{K_d S}{I_r T_d S}, \quad (2)$$

Сигнал формується тільки тоді, коли відбувається відхилення роботи основного ПІ-регулятора при впливі збурюючих перешкод або при параметричних змінах в контурі регулювання. Робастний регулятор тільки коригує роботу основного регулятора, а глибина коригування задається коефіцієнтом  $T_r$  та постійною часу  $T_d$ , причому при великих коефіцієнтах корекції може статися перекомпенсація ослаблення впливів, що збурюють.

Двоконтурний регулятор струму має два контури регулювання струму. Внутрішній (перший) контур має стандартний ПІ-регулятор:

$$W_{31}(s) = \frac{U_{yn}(s)}{U_{3\Pi}(s) - U_{OT}(s)} = W_1(s). \quad (3)$$

Зовнішній (другий) регулятор має інтегральну передавальну функцію, яка робить контур струму астатичним до впливу, що збурює:

$$W_{32}(s) = \frac{U_{3\Pi}(s)}{U_{3T2}(s) - U_{OT}(s)} = \frac{1}{4T_\mu S} = W_{52}(s); \quad (4)$$

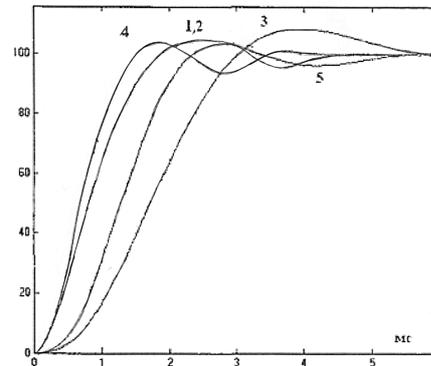
Ланцюговий регулятор повторює внутрішній контур двоконтурного регулятора, а зовнішній регулятор, за рахунок передавальної функції, забезпечує більшу швидкодію всього контуру:

$$W_4(s) = \frac{U_{3\Pi}(s)}{U_{3T2}(s) - U_{OT}(s)} = \frac{1 + 2T_\mu S}{2T_\mu S} = W_{52}(s); \quad (5)$$

Подвійний регулятор струму має два контури регулювання струму. Внутрішній (перший) контур має пропорційний регулятор, коефіцієнт підсилення якого формує аперіодичний перехідний процес та розраховується за формулою:

$$W_{51}(s) = \frac{U_{yn}(s)}{U_{3T1}(s) - U_{OT}(s)} = K_p = \frac{(T_3 - 2T_\mu) R_E}{2T_\mu K_o K}. \quad (6)$$

Зовнішній (другий) регулятор має таку ж інтегральну передавальну функцію (4), як двоконтурний регулятор  $\psi_T$ . На рис. 2 представлені перехідні процеси струму для заданих схем регуляторів при стрибку сигналу, що задає (керуючий вплив).



Рис/ 2/ Перехідні процеси в контурах струму

У табл. 1 наведені результати дослідження основних показників перехідних процесів (час максимуму  $t$  та величина перерегулювання  $\sigma$ ) для системи ПЧ-АДКЗ при  $\psi_T = 0,4$  мс,  $u_{sx}$ ,  $u_{sy} = 20$  мс та значеннях температурного коефіцієнта  $a = 1,0; 0,7; 1,5$  (температура обмотки  $\theta = 40; -40; 150^\circ\text{C}$ ).

Таблиця 1  
Показники перехідних процесів

Показник	Тип регулятора					
	1	2	3	4	5	a
t, мс	2,55	2,55	3,95	1,77	2,73	1,0
$\sigma$ , %	4,3	4,3	8,25	5,3	3,3	
t, мс	2,549	2,5	3,947	1,76	2,723	0,7
$\sigma$ , %	5,52	4,67	8,85	5,9	3,8	
t, мс	2,494	2,58	4,0	1,785	2,76	1,5
$\sigma$ , %	2,39	3,8	7,28	4,38	2,6	
$\Delta t$ , мс	-0,055	0,08	-0,053	-0,025	0,037	$\Delta 0,8$
$\Delta \sigma$ , %	-3,13	-0,87	-1,57	-1,52	-1,2	

Перехідні процеси та ЛАЧХ розраховувалися за допомогою програмного пакету MATLAB Simulink. Робастність регуляторів оцінювалася зміною часу максимуму  $\psi_T$  та зміною перерегулювання  $U_r = 0$  при температурних коефіцієнтах  $a_1 = 1,5; a_2 = 0,7$ . Проведений аналіз показав, що кращі показники робастності має робастний регулятор 2.

При збільшенні активного опору на 80% величина перерегулювання зменшилася для цього регулятора лише на 0,87% зі збільшенням часу максимуму на 0,08 мс, в той час, як у ПІ-регулятора 1 цей показник дорівнює 3,13%. Непогані показники у ланцюгового 4 – 1,52% та подвійного регуляторів 5 – 1,2%. Очевидно, що двоконтурний регулятор 3 в подальшому необхідно прибрати, адже у нього час максимуму майже в 2 рази більше ніж у інших регуляторів та перерегулювання становить 8,25%.

Вплив збурювальних дій регуляторів оцінювався по логарифмічних амплітудно-частотних характеристиках цих же змінних (рис. 3).

Похибка струму від дії ЕРС для ПІ-регулятора 1 має максимальне стале значення з часом перехідного процесу  $x$ .

Встановлене значення похибки для подвійного регулятора 5 в 24 рази менше, ніж у ПІ-регулятора, а час перехідного процесу  $\psi_T$  ( $\psi_{Tx} = \psi_T$ ). Решта регуляторів мають нульову сталу похибку, а час перехідного процесу можна порівняти з часом ПІ-регулятора 1, причому у двоконтурного регулятора 3 величина похибки перевищує похибку подвійного регулятора 5 більш ніж в два рази.

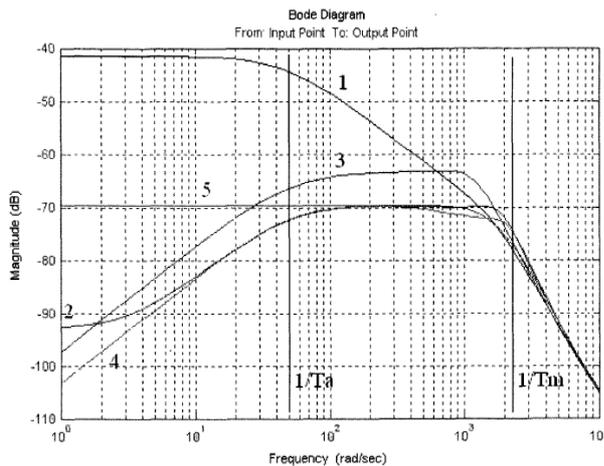


Рис. 3. ЛАЧХ контурів струму по збуренню від ЕРС в системі ПЧ-АДКЗ

Отримані перехідні процеси повністю пояснюються наведеними ЛАЧХ, за якими величина помилки від дії ЕРС визначається висотою ЛАЧХ. Характеристики всіх регуляторів на частотах, більших  $\psi_{IT}$ , мають нахил,  $-40$  дБ/дек, що говорить про добре гасіння високочастотних перешкод. Для регуляторів 2, 3 та 4 на низьких частотах нахил дорівнює  $+20$  дБ/дек до  $-63$  дБ, що говорить про невеликі помилки на низьких частотах або відсутність помилок по закінченню перехідного процесу. На низьких та середніх частотах ПІ-регулятор 1 має найвищу характеристику  $-42$  дБ, а на низьких частотах нахил характеристики дорівнює  $0$  дБ/дек, що говорить про

статистичну помилку по струму та максимальний час перехідного процесу.

Подвійний регулятор струму 5 має на низьких частотах характеристику  $-69,5$  дБ з нахилом  $0$  дБ (відмінність на  $27,5$  дБ), але ця ділянка на середніх частотах найнижча для всіх регуляторів, що говорить про мінімальний час перехідного процесу та статистичну похибку, яка в 24 рази менша, ніж у ПІ-регулятора.

## Висновки

Таким чином, проведені дослідження показують, що подвійний регулятор струму є найпростішим та відносно нескладним в налаштуванні, має гарні робастні характеристики, він трохи гірше гасить збурюючі впливи у порівнянні з іншими типами регуляторів, але при цьому має мінімальний час перехідних процесів, тому може бути рекомендований для застосування в мікропроцесорних системах регулювання ПЧ-АД.

## Список літератури

1. Васильковський Ю.Н., Коваленко М.А. Исследование устройства контроля короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя // *Електротехніка і електромеханіка*, 2011. – № 6. – С. 18–22.
2. Дартау В.А., Рудаков В.В., Столяров И.М. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.А.Дартау, В.В.Рудаков, И.М.Столяров. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 342с.
3. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. *Електромеханічні системи керування та електроприводи: Навч. посібник*. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
4. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
5. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. *Моделирование электромеханических систем*. – Кременчук, 2001. – 410 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.В. Шульга, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

## ОЦЕНКА ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В КОНТУРАХ ТОКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА БАЗЕ АД С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Н.В. Єрмилова, С.Г. Кислиця, С.М. Рыбка

Проведена оцінка возмущаючих воздействий в контурах тока разработанной системы векторного управления для разных типов регуляторов тока. Оценка проводилась по таким показателям, как качество и быстродействие переходного процесса по управляющему воздействию, реакция системы на возмущающее воздействие, робастность системы регулирования. Определен тип регулятора с наилучшими показателями.

**Ключевые слова:** возмущающее воздействие, микропроцессорная система, асинхронный двигатель.

## DISTURBANCES ESTIMATION IN THE CURRENT CIRCUITS OF MICROPROCESSOR VECTOR CONTROL FOR ELECTRIC DRIVE BASED ON SQUIRREL CAGE AD

N.V. Yermilov, S.G. Kyslytsia, S.M. Ribka

Carried out disturbances evaluation in the current circuits of developed vector control system for the different types of current regulators. The evaluation was conducted on indicators such as the quality and speed of transition process on the control action, system response on the disturbance, regulation system robustness. Determined the best performance type of regulator.

**Keywords:** disturbance, microprocessor system, asynchronous motor.

УДК 681.5

Р.В. Захарченко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ЧЕРЕЗ ЕЛЕМЕНТАРНИЙ ШАР ЗЕРНА

У статті розглянуто можливість опису процесу сушіння зерна у шахтній прямокутній зерносушарці як об'єкта з розподіленими параметрами у декартовій системі координат.

**Ключові слова:** об'єкти з розподіленими параметрами, тепловий потік, конвективний теплообмін, нескінченно тонкий шар, рівняння теплового балансу.

### Вступ

Методика отримання, дослідження та перетворення математичних моделей об'єктів з розподіленими параметрами показала громіздкість отримуваних залежностей, а також значну складність їх застосування. В зв'язку з чим, математичні моделі об'єктів з просторовим розподілення параметрів використовувались досить рідко. Їх старалися замінити моделями із зосередженими параметрами, що, звичайно, зменшувало точність математичних моделей і нерідко приводило до неадекватності отримуваних моделей об'єктам моделювання.

Моделювання таких об'єктів на ЕЦОМ в значній мірі зменшує складність врахування просторового розподілення параметрів, що робить можливим використання моделей з розподіленими параметрами в інженерних розрахунках. На програму ЕОМ доцільно покласти обчислення коефіцієнтів і розв'язування отримуваних моделей. З такої цифрової моделі, якщо у тому є необхідність, можна виводити коефіцієнти моделі та результати розрахунків у тому вигляді, який потрібний дослідникам.

Моделювання об'єктів з розподіленими параметрами пов'язано з вибором певних просторових координат, в яких найбільш зручно представити розподілення параметрів у просторі. Використання такої системи координат визначає підхід до моделювання об'єктів, а також структуру моделі.

Сушіння зерна у шахтній прямокутній зерносушарці можна описати об'єктом з розподіленими параметрами у декартовій системі координат.

### Опис процесу теплообміну

Припустити, що шар зерна у сушарці є однорідний теплопровідний шар товщиною  $\delta$ , з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$  температура якого змінюється лише по товщині вздовж просторової координати  $x$ , та в часі  $t$ . Тобто ми маємо одномірний нестационарний тепловий потік, що визначається тем-

пературою  $\theta(x, t)$ . Такий шар омивається середовищами, які мають з одного боку температуру  $\theta_0(t)$ , а з другого –  $\theta_1(t)$ . Теплообмін шару зерна з середовищами, що її омивають, – конвективний, у зв'язку з чим, як граничні умови процесу теплопередачі ми можемо представити граничні умови 3-го роду:

$$-\lambda \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_0 [\theta_0(t) - \theta(x, t) \Big|_{x=0}]; \quad (1)$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \alpha_1 [\theta(x, t) \Big|_{x=\delta} - \theta_1(t)]. \quad (2)$$

де  $\alpha_0$  та  $\alpha_1$  – коефіцієнти тепловіддачі відповідно від одного середовища до шару зерна та від шару до іншого середовища, що його омиває.

Виділимо всередині шару, що розглядається, на відстані  $x$  від однієї поверхні нескінченно тонкий шар товщиною  $dx$ , розташований перпендикулярно тепловому потоку з однаковою температурою  $\theta(x, t)$ . Цей шар можна розглядати як акумулюючу ємкість. Ця акумулююча ємкість буде нескінченно тонкою, товщиною  $dx$ . Складемо рівняння теплового балансу у динаміці для цієї акумулюючої ємкості:

$$Q_x - Q_{x+dx} = Q_a \quad (3)$$

де  $Q_x$  – тепловий потік вздовж координати  $X$ , що входить в цю акумулюючу ємкість шару,

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} F \quad (4)$$

де  $F$  – площа теплообмінного шару з температурою  $\theta(x, t)$ ;

$Q_{x+dx}$  – тепловий потік, що виходить із нескінченно малої акумулюючої ємкості, тобто із виділеного шару,

$$Q_{x+dx} = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx, \quad (5)$$

де  $\frac{\partial Q_x}{\partial x}$  – градієнт зміни теплового потоку  $Q_x$  вздовж координати  $x$ .

Визначимо його, підставляючи значення  $Q_x$  із (4):

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( -\lambda \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} F \right) = -\lambda \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} F, \quad (6)$$

$Q_a$  – теплота, що акумулюється в акумулюючій ємкості під час зміни її температури,

$$Q_a = F dx \rho c \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t}, \quad (7)$$

де  $\rho$  та  $c$  – відповідно щільність та теплоємність шару зерна.

Підставимо складові (5), (6) та (7) в рівняння динаміки (3):

$$Q_x - \left[ Q_x + \left( -\lambda \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} F dx \right) \right] = F dx \rho c \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t}, \quad (8)$$

яке після скорочень буде мати вигляд:

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2}, \quad (9)$$

де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності,

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}. \quad (10)$$

Рівняння (9) разом з граничними умовами (1) та (2) буде динамічною моделлю процесу теплопередачі через шар зерна. Щоб цей процес був повністю заданим, потрібно ще початкове значення температури  $\theta(x, t)$ ,

$$\theta(x, t) \Big|_{t=0} = \theta^0(x). \quad (11)$$

Отриману динамічну модель процесу теплопередачі перетворимо в алгоритм для розв'язання на ЕЦОМ.

Для цього рівняння динаміки (9) акумулюючої ємкості, граничні (1), (2) та початкові (11) умови приведемо до дискретної форми.

Перетворення почнемо із незалежних змінних, яких у розглянутій динамічній моделі є дві –  $x$  та  $t$ . Виразимо їх у вигляді дискретних функцій:

$$x = s h, \quad (12)$$

де  $s$  – номер поточного кроку,  $s = 0, 1, 2, \dots$ ;  $h$  – крок дискретизації вздовж координати  $x$ ;

$$t = v \tau, \quad (13)$$

де  $v$  – номер поточного кроку,  $v = 0, 1, 2, \dots$ ;  $\tau$  – крок дискретизації вздовж координати  $t$ .

Враховуючи товщину стінки  $\delta$  крок дискретизації  $h$  можна виразити:

$$h = \frac{\delta}{n}, \quad (14)$$

де  $n$  – число шарів, на які можна розбити шар зерна по товщині.

Тепер розглянемо приведення до дискретної форми залежних змінних  $\theta(x, t)$ ,  $\theta_0(t)$ ,  $\theta_1(t)$  та похідних вихідної функції  $\theta(x, t)$ .

Неперервну функцію  $\theta(x, t)$  з врахуванням (13) та (14) можна представити у вигляді дискретної:

$$\theta(x, t) \Big|_{\substack{x=s h \\ t=v \tau}} = \theta_{s, v}. \quad (15)$$

Перетворимо до дискретного вигляду похідні вихідної функції див. (9) та (1):

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} \cong \frac{\theta_{s, v+1} - \theta_{s, v}}{\tau}, \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 \theta(x, t)}{\partial x^2} \cong \frac{\theta_{s-1, v} - 2\theta_{s, v} + \theta_{s+1, v}}{h^2}. \quad (17)$$

Підставимо вирази (16) та (17) у рівняння (9):

$$\frac{\theta_{s, v+1} - \theta_{s, v}}{\tau} = a \frac{\theta_{s-1, v} - 2\theta_{s, v} + \theta_{s+1, v}}{h^2}. \quad (18)$$

Розв'яжемо рівняння (18) відносно  $\theta_{s, v+1}$ :

$$\theta_{s, v+1} = q_1 \theta_{s, v} + q (\theta_{s-1, v} + \theta_{s+1, v}); \quad (19)$$

$$1 \leq s \leq n-1,$$

де

$$q = \frac{a \tau}{h^2} \quad (20)$$

$$q_1 = 1 - q. \quad (21)$$

Найвища точність апроксимації диференціального рівняння (9) різницевою рівнянням (19) має місце, коли  $q \geq 1/6$  [6].

Стійкість розв'язування рівняння (19) досягається коли  $q \leq 1/2$ .

Перетворимо до дискретної форми вхідні змінні:

$$\theta_0(t) \Big|_{t=v \tau} = \theta_v^0;$$

$$\theta_1(t) \Big|_{t=v \tau} = \theta_v^1.$$

З врахуванням цього, а також (15) та (16) перетворимо до дискретної форми рівняння граничних та початкових умов:

$$-\lambda \frac{\theta_{s+1, v} - \theta_{s, v}}{h} \Big|_{s=0} = \alpha_0 (\theta_v^0 - \theta_{s, v} \Big|_{s=0}),$$

звідки

$$\theta_{0, v} = C_1 \theta_{1, v} + C_2 \theta_v^0, \quad (22)$$

де

$$C_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \alpha_0 h}; \quad C_2 = 1 - C_1; \quad \theta_v^0 = \theta_0(t) \quad (23)$$

Гранична умова (2) в дискретній формі буде мати вигляд:

$$-\lambda \frac{\theta_{n, v} - \theta_{n-1, v}}{h} = \alpha_1 (\theta_{n, v} - \theta_v^1), \quad (24)$$

звідки

$$\theta_{n,v} = b_1 \theta_{n-1,v} + b_2 \theta_v^1 \quad (25)$$

де

$$b_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \alpha_1 h}; b_2 = 1 - b_1; \theta_v^1 \cong \theta_1(\theta) \quad (26)$$

Початкова умова (11) у дискретній формі буде мати вигляд:

$$\theta^0(x) = \theta(x, \theta) \Big|_{t=0} = \theta_{s,v} \Big|_{v=0} = \theta_{s,0} \quad (27)$$

Рівняння (19), (22), (25) та (27) будуть алгоритмом дискретного моделювання динаміки теплового потоку через плоску стінку. Для програмування розв'язування цієї моделі на ЕЦОМ доцільно утворити цикл, в якому будуть використані рівняння алгоритму. Розрахунок коефіцієнтів цієї дискретної моделі (10), (20), (21), (23), (26) потрібно виконати до згаданого циклу.

Розрахунок часових характеристик об'єктів з розподіленими параметрами, як і розв'язування інших диференціальних рівнянь проводиться шляхом створення у циклу.

Для створення циклу розрахунку зміни температури  $\theta_{s,v}$  у динаміці необхідно мати значення температури в розрахунковий момент часу  $\theta_{s,v+1}$  та на попередньому кроці  $\theta_{s,v}$  для цього використовуються масиви температур  $\theta_{s,v+1}$  та  $\theta_{s,v}$ , тобто зміну температури по товщині шару зерна.

## ВИСНОВОК

Процеси конвективного теплообміну при сушінні зерна у шахтній зерносушарці описуються системою з розподіленими параметрами у декартовій системі координат. Отримані рівняння динаміки для зручності застосування переведено до дискретної форми.

## Список літератури

1. Ажогин В.В., Згуровский М. З. Машинное проектирование оптимальных систем управления пространственно-распределенными динамическими объектами. - Киев: Высшая школа, 1985. - 170с.
2. Батунер Л. М. Позин М. Е. Математические методы в химической технике. - Л.: Госхимиздат, 1960. - 636с.
3. Девятков В. Н. Теория переходных процессов в технологических аппаратах с точки зрения задач управления. - Новосибирск: Издво СО АН СССР, 1964. - 232с.
4. Девятков В.Н., Демиденко Н.Ф., Охорзин В. А. Динамика распределенных процессов в технологических аппаратах, распределенный контроль и управление. - Красноярск: Книжное издво, 1976. - 310с.
5. Егоров А. И. Оптимальное управление тепловыми и диффузионными процессами. - М.: Наука, 1978. - 462с.
6. Ладиев Р. Я., Остапенко Ю.А., Кубрак А.И., Кваско М. З. Математическое описание объектов с распределенными параметрами. Ч.3. - Киев: КПИ, 1974. - 149 с.
7. Маковский В.А. Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами. - М.: Металлургия, 1971. - 384 с.
8. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. - М.: Наука, 1984. -285 с.
9. Серов Е. П., Корольков В. П. Динамика процессов в тепло- и массообменных аппаратах. - М.: Энергия, 1967
10. Аверина Т. В., Кубрак Н. А. Динамика элементов систем. - К.: УЗМН, 1998. - 224с.
11. И. Шевяков А. А., Яковлева Р. В. Инженерные методы расчёта динамики теплообменных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1968. – 320 с.

Надійшла до редколегії 31.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О.В. Шульга, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ЧЕРЕЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СЛОЙ ЗЕРНА

Р.В. Захарченко

*В статье рассмотрена возможность описания процесса сушки зерна в шахтной прямоточной зерносушилке как объекта с распределенными параметрами в декартовой системе координат.*

**Ключевые слова:** объекты с распределенными параметрами, тепловой поток, конвективный теплообмен, бесконечно тонкий слой, уравнение теплового баланса.

## MODELING OF HEAT TRANSFER THROUGH THE ELEMENTARY LAYER OF GRAIN

R.V. Zaharchenko

*The article considers the possibility of describing the process of drying the grain in the dryer as an object with distributed parameters in the cartesian coordinate system.*

**Keywords:** objects with distributed parameters, heat flux, convective heat transfer, infinitely thin layer, heat balance equation.

УДК 355.35

О.В. Іванченко, Г.М. Маренко, А.О. Іванченко

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ «АВТОМОБІЛЬ-ДОРОГА» ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПРОВЕДЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ

В статті розглянуто показники, що оцінюють технічний стан автомобільної техніки Національної гвардії України та дороги. Запропоновано показник для оцінки системи «автомобіль-дорога» при забезпеченні проведення спеціальної операції.

**Ключові слова:** технічний стан, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт технічної готовності, закон розподілу, умови експлуатації, категорії доріг, щеплення шин з дорожнім покриттям, ймовірність подолання маршруту.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Автомобільна техніка, яка виконує завдання в антитерористичній операції і в повсякденній діяльності, має значну кількість відмов, які пов'язані із суб'єктивними та об'єктивними причинами. Але при плануванні використання АТ на період виконання службово-бойових завдань (СБЗ), необхідно оцінювати рівень її готовності на заданий момент часу та безвідмовність техніки на період виконання завдання.

Технічний стан машин оцінюється за допомогою коефіцієнта технічної готовності, коефіцієнта готовності, коефіцієнта оперативної готовності [2, 6]. Але високі значення цих коефіцієнтів не гарантують виконання завдання, тому що при підготовці до проведення спеціальної операції начальник автомобільної служби, заступник командира частини з озброєння і техніки окрім оцінки стану автомобільної техніки (АТ) повинні оцінити маршрути руху і стан доріг по яким будуть рухатися транспортні засоби. Так, навіть при значенні коефіцієнта оперативної готовності АТ угруповання військ = 0,97 при ймовірності подолання маршруту = 0,1 ймовірність прибуття техніки до місця проведення спеціальної операції буде складати лише 0,097, що може привести до зриву спеціальної операції. Виникає необхідність розгляду надійності системи «автомобіль-дорога».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінка стану готовності техніки розглядається в роботах [2, 6]. Процес взаємодії колеса з дорожнім покриттям, розглядається в роботах [4]. Надійність автомобіля та надійність дорожнього покриття розглядається в роботах [3, 6, 7]. Однак в цих роботах надійність системи «автомобіль-дорога» при низькій якості автомобільних доріг у контексті забезпечення виконання спеціальної операції не оцінювалася.

**Мета статті.** визначення і обґрунтування показника надійності системи «автомобіль-дорога», який би враховував і стан АТ і стан дорожнього покриття на маршрутах руху, що плануються при проведенні спеціальної операції.

### Основний матеріал

Для оцінки стану АТ при підготовці до проведення спеціальної операції посадовими особами технічних частин пропонується комплексний показник для інтегральної оцінки двох властивостей надійності техніки (ремонтпридатності та безвідмовності) - коефіцієнт оперативної готовності ( $K_{ог}$ ) [1]. Коефіцієнт оперативної готовності – це ймовірність того, що система виявиться в працездатному стані у будь-який момент часу, крім запланованих періодів, коли використання об'єкта за призначенням не передбачається, і починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого періоду [3,6]. Коефіцієнт оперативної готовності, як показник рівня технічного стану АТ може використовуватися для прогнозування виконання поставлених завдань на період проведення спеціальної операції.

Що стосується автомобільних доріг, то стан покриття автомобільних доріг у залежності від дорожніх умов може різко змінюватися на різних їх ділянках і на відносно незначних відстанях між ними.

Автомобільні дороги розділені на п'ять категорій [8, 9].

Дороги I і II категорії з капітальними типами покриттів найбільш повно відповідають умовам дорожнього руху. До них відносять, нові автомагістралі з кількома смугами руху в кожному напрямку і двосмугові, з однієї смуги руху в одному напрямку. Широкі смуги руху (3.75 м), обмежені максимальні ухили (3...4 відсотків), і збільшені радіуси повороту ширші узбіччя забезпечують на цих дорогах безпеку руху і достатню пропускну здатність.

Дороги III категорії розраховані для менш інтенсивного руху мають легке удосконалене покриття. Ширина кожної смуги руху такої дороги може бути зменшена до 3,5 м, радіуси кривих до 400 м, максимальні ухили до 5%.

До IV категорії відносять дороги з твердим покриттям, але не завжди удосконалені (бруківка, гра-

вій). Ширина смуг руху на них не більше 3 м, мінімальний радіус вигину 250 м, максимально поздовжні ухили 6%.

До V категорії відносять профільовані дороги з не твердим покриттям (що проходять по природному ґрунту). Іноді їх поверхні оброблюють спеціальними домішками, що в'яжуть ґрунт і підвищують стійкість верхнього шару.

Кожна із приведених категорій доріг може бути непроїзною із за впливу природних факторів, або суб'єктивних причин.

Загальна оцінка надійності автомобільної дороги під час експлуатації проводиться відповідно до класичної теорії надійності за допомогою основних показників довговічності, ремонтпридатності, безвідмовності, збереженості дороги [5]. Як показники техніки так і окремі показники дороги не дають можливості оцінювати спроможність техніки долати маршрут та виконувати задачу по перевезенню вантажів та особового складу. Тому необхідно ввести показник, який дозволив би оцінювати можливість подолання маршруту АТ у групування військ.

Одним із показників безвідмовності системи автомобіль-дорога може бути ймовірність подолання маршруту. Ймовірність подолання маршруту  $P_1$  називається ймовірність того, що по дорозі буде можливим рух автомобіля із заданими характеристиками.

Ймовірність подолання маршруту залежить від великої кількості факторів, а саме:

- стану дорожнього покриття та шини;
- навантаження на дорожнє покриття (швидкість руху, маса транспортних засобів);

- кліматичних умов (температура, вологість, тиск);
- інтенсивності руху;
- механічних факторів (коливання, частота);
- радіаційної обстановки;
- впливу хімічних речовин (сіль, кислота) та ін.

Під час оцінки ймовірності подолання маршруту усі фактори врахувати дуже важко, тому у якості першого шагу оцінимо можливість руху автомобіля по дорозі станом дорожнього покриття та шини. У якості оціночного показника візьмемо коефіцієнт зчеплення колеса з дорожнім покриттям  $\phi$ . Коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям є відношення максимально можливого на даній ділянці дороги значення сили зчеплення між шинами транспортного засобу з поверхнею дороги  $P_m$  до маси цього транспортного засобу  $G$  тобто:

$$\phi = \frac{P_m}{G}. \quad (1)$$

Коефіцієнт зчеплення  $\phi$ , залежить від багатьох факторів: ступеня спрацьованості рисунка протектора шин, тиску у шинах, швидкості руху, виду і стану дорожнього покриття тощо. В таблиці 1 наведено середні величини коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям для різних типів поверхонь руху.

Тоді ймовірність подолання маршруту можна записати:

$$P_1 = P(\phi). \quad (2)$$

У якісному вигляді графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнту.

Таблиця 1

Коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям  $\phi$  для різних типів поверхонь руху

Дорожнє покриття	$\phi$
Асфальтобетонне, цементобетонне:	
сухе	0,7-0,8
мокре	0,4-0,6
Щебеневе:	
сухе	0,6-0,7
мокре	0,3-0,5
Ґрунтова дорога:	
суха	0,5-0,6
мокра	0,2-0,4
Покрита укатаним снігом дорога	0,2-0,3
Ожеледиця	0,1-0,2

Зчеплення шин з дорожнім покриттям представлено на рис. 1.

Із графіка видно, що при низькому значенні коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою (ожеледиця, мокра дорога), ймовірність подолання маршруту теж буде низькою, та навпаки при високому значенні коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою (сухе ас-

фальтобетонне покриття), ймовірність подолання маршруту буде добігати одиниці.

Однак  $P_1 = P_1(\phi)$  не в повній мірі може характеризувати виконання спеціального завдання, тому у якості комплексного показника безвідмовності системи «автомобіль-дорога» пропонується коефіцієнт можливості здійснення перевезень  $K_{мп}$ .

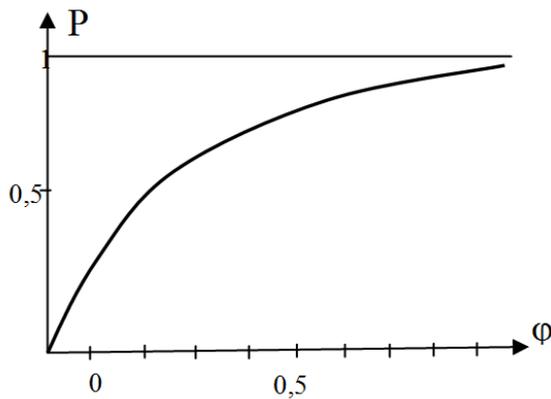


Рис. 1. Графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім покриттям

Коефіцієнт оперативної готовності та ймовірність подолання маршруту є подіями непов'язаними та незалежними. Відповідно до теореми перемноження ймовірностей непов'язаних та незалежних подій вираз для коефіцієнту можливості здійснення перевезень можна записати в наступному вигляді

$$K_{\text{мзп}} = K_{\text{ог}} \cdot P(\phi). \quad (3)$$

Так, наприклад, при значеннях коефіцієнту оперативної готовності  $K_{\text{ог}} = 0,9$  та ймовірності подолання маршруту  $P(\phi) = 0,8$  (сухе асфальтобетонне покриття) коефіцієнт можливості здійснення перевезень буде  $K_{\text{мзп}} = 0,72$ , а при значеннях коефіцієнту оперативної готовності  $K_{\text{ог}} = 0,9$  та ймовірності подолання маршруту  $P(\phi) = 0,6$  (мокре асфальтобетонне покриття) коефіцієнт можливості здійснення перевезень буде  $K_{\text{мзп}} = 0,54$ , що відповідає ймовірності виконання завдань АТ при проведенні спеціальної операції у групуванням військ.

## Висновки

Таким чином, запропоновано у якісному вигляді графік залежності ймовірності подолання маршруту від коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім

покриттям, отримано та обґрунтовано формулу, що дозволяє оцінювати ймовірність виконання поставленого завдання автомобільною технікою у групуванням військ при проведенні спеціальної операції.

Задачею наступних досліджень є визначення характеру залежності ймовірності перебування дороги в працездатному стані від коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім покриттям.

## Список літератури

1. Наказ командувача ВВ МВС України № 1402 від 2003р. Настанова з автомобільної служби у внутрішніх військах МВС України.
2. Воинские автомобильные перевозки. Автомобильный транспорт служб тыла [Текст]. – М.: ВИ МО СССР. – 1975. – 279 с.
3. Формальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність [Текст] / Є.Ю.Формальчик, М.С.Олісевич, О.Л.Мастикаш, Р.А.Пельо // – Львів.: Афіша. – 2004. – 125 с.
4. Бурачек В. Г., Шульц Р. В. мобільна система автоматизованого цифрового знімання параметрів автомобільної дороги. Безпека дорожнього руху., 2005/3-4.
5. Степанов И. С. Покровский Ю. Ю., Лмакин В. В., Москалева Ю. Г. Влияние элементов системы «родитель-автомобиль-дорога-среда» на безопасность дорожного движения: Учебное пособие – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.
6. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т./Ред. Сонет: Авдеевский и др.. – М.: Машиностроение, 1986. Т. 2: Математические методы в теории надежности и эффективности /Под ред. Б. В. Гнеденко. -280 с..
7. Відомчі будівельні норми України. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. ВБН В.2.3-218-186-2004. Київ. УКРАВДОР:- 2004.
8. Автомобільні дороги: Учебное пособи для ВУЗов/ Под ред. В. С. Порожнякова. – М.:Транспорт, 1983. – 303 с.
9. СНиП 2.05.02-85 (1997) АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ;

Надійшла до редколегії 25.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С. Козелккова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ «АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА» ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОВЕДЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

О.В. Иванченко, Г.М. Маренко, А.О. Иванченко

В статье рассмотрены показатели, которые оценивают техническое состояние автомобильной техники Национальной гвардии Украина и дороги. Предложен показатель для оценки системы «автомобиль-дорога» при обеспечении проведения специальной операции.

**Ключевые слова:** техническое состояние, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технической готовности, закон распределения, условия эксплуатации, категории дорог, прививки шин с дорожным покрытием, вероятность преодоления маршрута.

## RELIABILITY OF 'CAR-ROAD' IN PROVIDING OF SPECIAL OPERATIONS

O.V. Ivanchenko, G.M. Marenko, A.O. Ivanchenko

In article indicators that evaluate the technical condition of the automotive technology of the National Guard Ukraine and roads. An indicator for the assessment of "car-road" while ensuring the holding special operations.

**Keywords:** technical condition, operational readiness coefficient, coefficient of technical readiness, distribution law, operating conditions, road categories, vaccination tires to the road surface, the probability of overcoming route.

УДК 621.314.572 : 621.313.33

Б.Т. Кононов<sup>1</sup>, Б.Г. Любарський<sup>2</sup>, Н.М. Куравська<sup>1</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМИ ОБЕРТАННЯ АНТЕНИ РЛС

В статті наведені результати моделювання роботи безредукторного електроприводу антени РЛС на базі дугостаторного асинхронного електричного двигуна.

**Ключові слова:** імітаційна модель асинхронного двигуна, частотно-керуємий електропривід, дугостаторний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

### Вступ

Імітаційна модель електропривода системи обертання антени РЛС – це логіко-математичний опис об'єкту, який може бути використаний для експериментування на комп'ютері в середовищі Matlab в цілях проектування, аналізу і оцінки його функціонування. Імітація процесів, що відбуваються в безредукторному електроприводі, дозволяє визначитися з суттю явищ, які мають місце, вдаючись до експериментів на реальному об'єкті.

**Аналіз літератури.** Імітаційна модель частоти керуемого електроприводу системи обертання антени РЛС на базі дугостаторного асинхронного електричного двигуна описується в [1]. Модель побудована на базі результатів досліджень, викладених в [2 – 4]. Схема моделі електроприводу системи обертання РЛС з частотно-керуєним дугостаторним електричним двигуном наведена на рис. 1.

**Мета статті:** з'ясування особливостей роботи електроприводу в режимах пуску й стабілізації частоти обертання та підтвердження можливості реалізації дугостаторного асинхронного електричного двигуна в якості електроприводу антени РЛС.

### Результати досліджень

Живлення електричного двигуна потужністю 7 кВт, який використовується в якості електроприводу, здійснюється трифазною змінною напругою, частота якої дорівнює 2,25 Гц. Ця частота отримується в безпосередньому перетворювачі частоти, який складається з трифазного випрямляча, що живиться частотою 50 Гц, та інвертора, який працює за законом просторово векторної широтно-імпульсної модуляції. Для визначення характеру зміни напруги використовується блок Fourier, а амплітудне значення першої гармоніки напруги виводиться на RMS Vab Voltage.

Для визначення діючих значень статорних ( $i_s$ ) та роторних ( $i_r$ ) струмів використовується блок Fourier 2. В процесі пуску двигуна максимальне зна-

чення струму статора дорівнює 76 А, яке досягається через 0,16 с від початку пуску (рис. 2). В подальшому статорний струм зменшується і його амплітуда становить 60 А, частота дорівнює 1,33 Гц.

Максимальне значення струму ротора в процесі пуску дорівнює 15,7 А і досягається через 0,07 с з моменту пуску. Під час пуску перша гармоніка роторного струму має частоту 0,5 Гц й амплітуду 5 А. Крім того, спостерігається вища гармоніка роторного струму частотою 5 Гц та амплітудою 1 А.

Частота обертання під час пуску зростає до 3,31 об/хв, а потім після 0,51 с знижується до 2,8 об/хв й після першої секунди дорівнює 3 об/хв. (рис. 3). В встановленому режимі коливання частот дорівнює 0,06 об/хв. Електричний момент під час пуску досягає максимального значення 2050 Нм через 0,08 с (рис. 3), а в встановленому режимі електромагнітний момент є функцією, що має постійну складову, яка дорівнює 851 Нм та змінну складову, що дорівнює 400 - 450 Нм.

Часові діаграми, що пояснюють процес зміни напруги під час пуску, наведені на рис. 4.

Під час пуску двигуна зі зростанням швидкості обертання електромагнітний момент зростає, потім з'являється коливання, далі встановлюється більш-менш сталий режим.

Моделювання процесу пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором здійснюється з використанням бібліотеки Sim Power Systems. Основу моделі (рис. 1) складає блок Asynchronous Machine SI Units. В блоці ASM Measurement Demux визначається кутова швидкість обертання ротора та електромагнітний момент. Блок Speed Moment використовується для отримання графічних залежностей частоти обертання ротора та електромагнітного моменту залежно від часу. Результати моделювання свідчать про те, що при пуску двигуна без навантаження на валу спочатку виникають суттєві коливання моменту. При завершенні перехідного процесу відбувається стрибок моменту і спостерігається зменшення частоти обертання ротора.

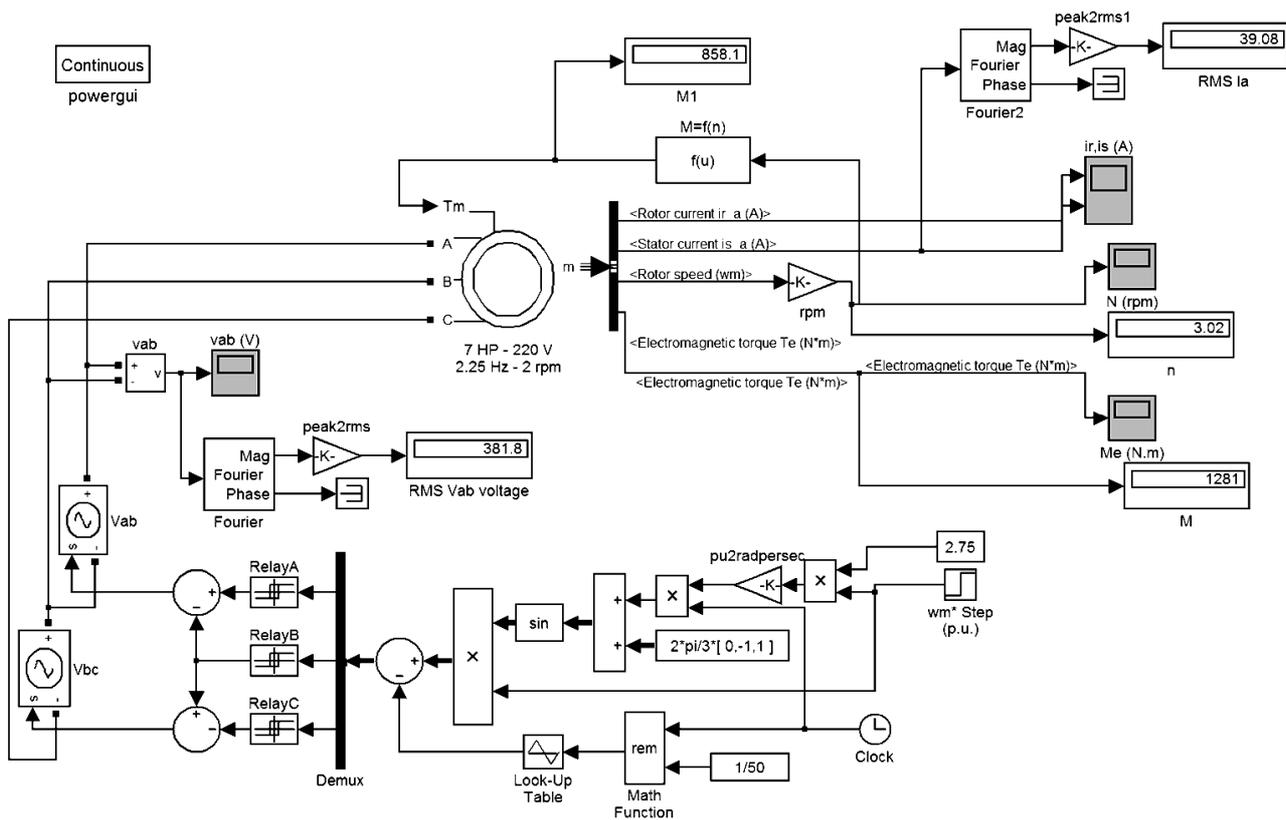


Рис. 1. Схема імітаційної моделі

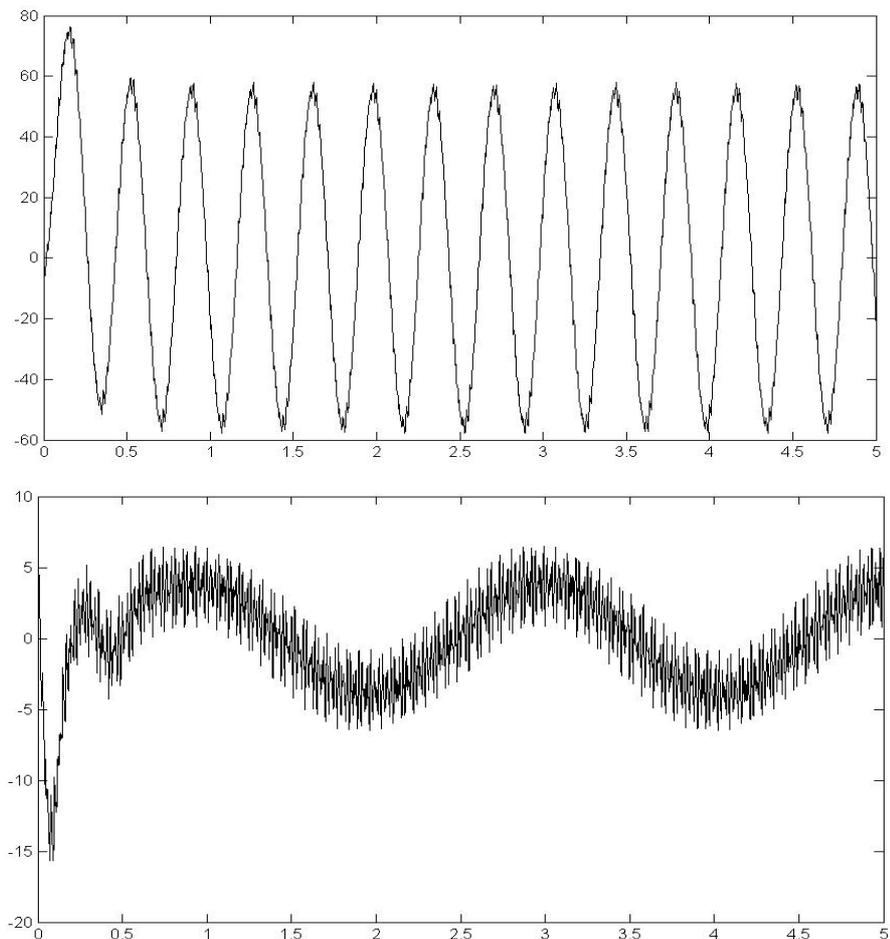


Рис. 2. Часові діаграми зміни струмів статора  $i_s$  та ротора  $i_r$

В імітаційній моделі передбачена можливість зміни таких параметрів двигуна як потужність, напруга, частота, активний опір статорного та роторного кола, індуктивність статорного та роторного кола, взаєміндуктивність, момент інерції, момент опору, кількість пар полюсів, умови зовнішнього середовища (температура та вологість повітря, що охолоджує), матеріал магнітопроводу статора, конструкція «білячої клітки» ротора.

Перевірка роботи імітаційної моделі електроприводу під час пуску двигуна дає підстави стверджувати, що параметри двигуна були розраховані вірно, а модель працює нормально.

Отримані значення статорних та роторних струмів співпадають з їх розрахунковими значеннями для режимів неробочого ходу та номінального навантаження.

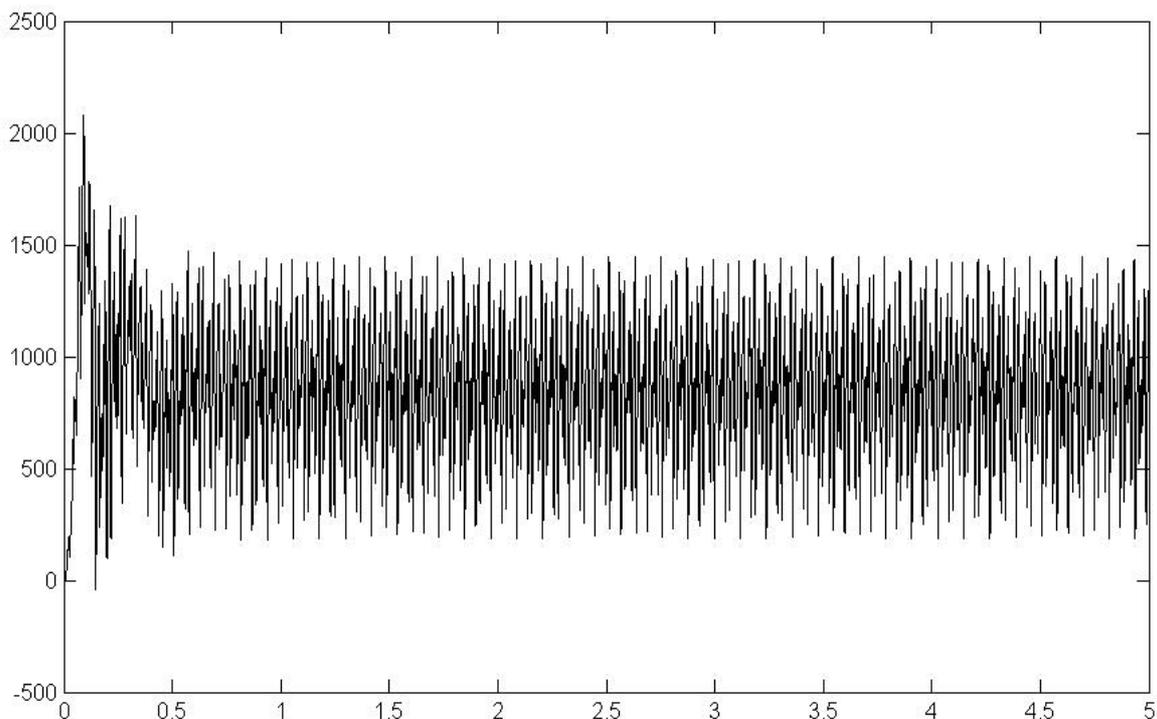
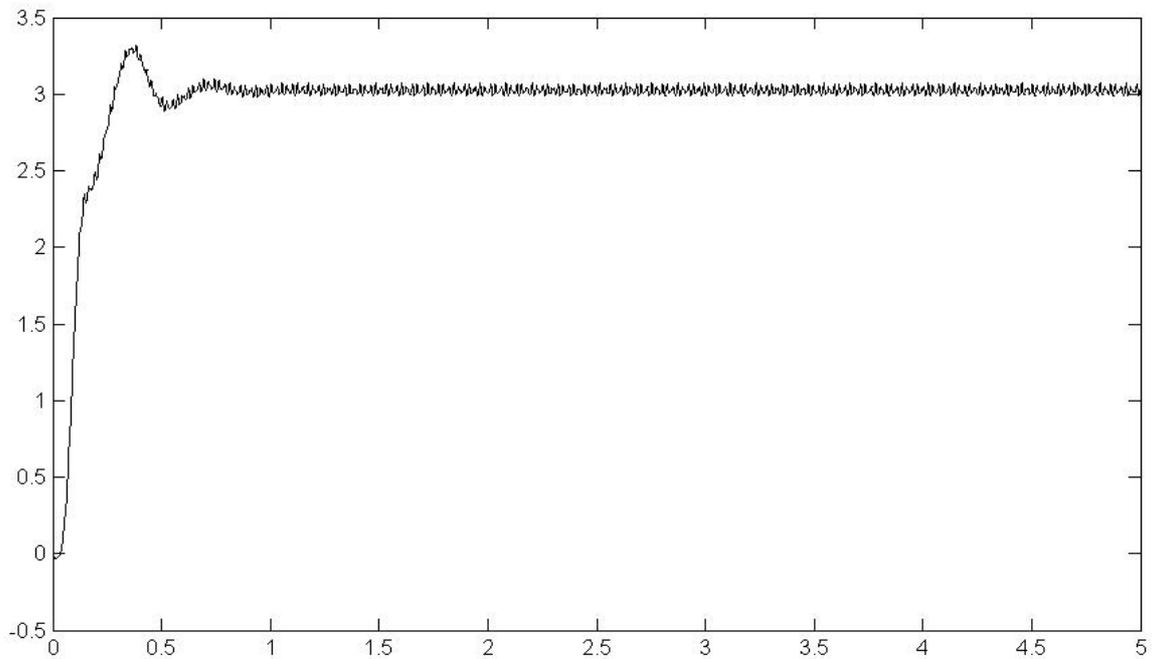


Рис. 3. Часові діаграми зміни частоти обертання та електромагнітного моменту під час пуску двигуна

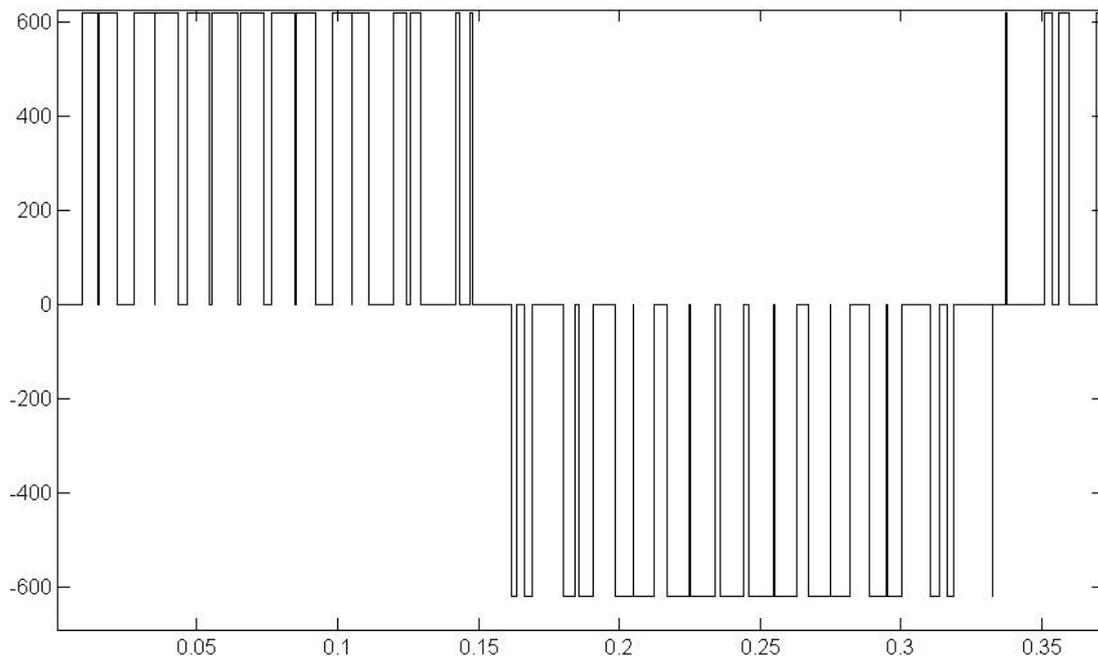


Рис. 4. Часові діаграми зміни напруги двигуна під час пуску двигуна

## Висновки

1. Моделювання роботи електроприводу дає підстави стверджувати, що без редукторний електропривід антени РЛС на базі дугостаторного асинхронного електричного двигуна з короткозамкненим ротором може бути реалізований.

2. За результатами розрахунків, виконаних під час розробки імітаційної моделі для системи обертання антени РЛС 80К6 (79К6), потужність двигуна повинна дорівнювати 7,0 кВт, його зовнішній діаметр повинен бути рівним 2,29 м, внутрішній діаметр дорівнювати 1,7 м, довжина ротора 0,95 м.

## Список літератури

1. Кононов Б.Т. Система управління електроприводом антени радіолокаційної станції / Б.Т. Кононов, Н.М. Куравська // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2016. – № 1 (5). – С. 133-136.

2. Линейная динамическая модель асинхронного двигателя с векторным управлением / Е.М. Потапенко, Е.В. Дуцинова, А.Е. Казурова, С.Г. Деев // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2010. – № 2. – С. 25-36.

3. Кононов Б.Т. Розрахункові співвідношення для визначення кидків струмів та провалів напруги при пуску дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором / Б.Т. Кононов, Н.М. Рябуха // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – 2015. – № 2 (19). – С. 132-136

4. Кононов Б.Т. Визначення електромагнітного моменту дугостаторного асинхронного електричного двигуна з короткозамкненим ротором / Б.Т. Кононов, Н.М. Рябуха, В.М. Уваров // *Система озброєння і військова техніка*. – 2015. – № 2(42) – С. 109-112

Надійшла до редколегії 18.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Більчук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ ВРАЩЕНИЯ АНТЕННЫ РЛС

Б.Т. Кононов, Б.Г. Любарский, Н.М. Куравская

*В статье описываются результаты моделирования работы безредукторного электропривода антенны РЛС на базе дугостаторного асинхронного электродвигателя*

**Ключевые слова:** имитационная модель асинхронного двигателя, частотно-управляемый электропривод, дугостаторный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

## SIMULATION OF GEARLESS ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF ROTATION RADAR ANTENNA

B.T. Kononov, B.G. Lubarsky, N.M. Kuravska

*The paper describes the simulation results of gearless electric antenna radar-based stator asynchronous electric motor*

**Keywords:** simulation model of induction motor, variable frequency electric drive, stator asynchronous motor with a squirrel rotor.

УДК 519.163 : 004.02

Ю.Б. Прібилев<sup>1</sup>, А.О. Подорожняк<sup>2</sup>, Л.М. Сакович<sup>3</sup><sup>1</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ<sup>2</sup> Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків<sup>3</sup> Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА МОЖЛИВІ ПІДХОДИ ДО ЇЇ ВИРІШЕННЯ

В статті розглянуто застосування методу групового урахування аргументів для параметричної оптимізації складних технічних систем. Розглянуті теоретичні основи алгоритмів параметричної оптимізації. Надані аналітичні співвідношення для рішення завдання параметричної оптимізації складних технічних систем. Наведений математичний опис алгоритмів випадкового пошуку екстремуму. Показано, що завдання системної параметричної оптимізації відносяться до класу багатопараметричних, багатоекстремальних, стохастичних, нелінійного програмування.

**Ключові слова:** складні технічні системи, параметрична оптимізація, метод групового урахування аргументів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Перспективним науковим підходом до проектування складних технічних систем (СТС) є застосування структурно-параметричних методів. Результат структурно-параметричного синтезу передбачає визначення такого врахування СТС (номенклатури елементів і способів взаємодії), який задовольняв би технічним завданням (ТЗ) на проектування і забезпечував екстремум обраного критерію якості.

Незважаючи на досягнуті успіхи в області розвитку загальної теорії СТС і теорії ієрархічних багаторівневих систем координація локальних рішень на практиці зустрічає труднощі методологічного, інформаційного та організаційного характеру. Основні труднощі при цьому полягають в обліку інтеграційного ефекту, який виникає у вигляді внутрішньорівневих і міжрівневих відносин між підсистемами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Моделювання та оптимізація СТС є поширеним завданням у багатьох галузях науки і техніки [1–4]. Потужним інструментом у задачах параметричної оптимізації СТС є метод групового урахування аргументів (МГУА), який був розроблений в Інституті кібернетики АН України академіком А.Г. Івахненко ще у 1968 році [5]. Подальший розвиток МГУА отримує в працях учня та колеги академіка А.Г. Івахненко – професора В.С. Степашко [6].

Відомі варіанти застосування нечіткого МГУА, який дозволяє отримати інтервальні оцінки для прогнозуємої змінної, що дозволяє оцінювати точність прогнозу [7]. Нечіткий МГУА, на відміну від чіткого, забезпечує відсутність явища виродженості моделей при неточному опису матриці обмежень нормальних рівнянь. При появі МГУА цей метод був

застосований у біології для дослідження механізмів еволюції, але найбільшу практичну значимість метод має у галузі моделювання складних систем [8].

**Метою статті** є визначення можливих підходів до системної параметричної оптимізації складних технічних систем.

### Основна частина

Рішення задач параметричної оптимізації передбачає наявність математичної моделі об'єкта оптимізації і засобів, що забезпечують пошук екстремуму деякого критерію. В якості математичних моделей можуть бути використані імітаційні моделі. При цьому схема узагальненого алгоритму розв'язання завдання параметричної оптимізації має вигляд, показаний на рис. 1. Реалізація такого алгоритму можлива тільки для найпростіших випадків, коли імітаційна модель проста і часові витрати на одну ітерацію незначні та кількість параметрів, що оптимізуються, вимірюється одиницями, а не сотнями. Якщо ж "прогін" моделі здійснюється протягом сотень і навіть десятків секунд, ітераційний процес пошуку екстремуму стає практично неможливим.

Для виходу з цієї "тупикової" ситуації використовуємо прийом, заснований на побудові аналітичної моделі об'єкта оптимізації на базі статистики його поведінки, отриманої за допомогою імітаційної моделі. Такий прийом базується на ідеях теорії самоорганізації [5–6]. Відповідно до цієї теорії, математична модель мінімальної складності відповідає мінімуму деякого критерію (критерію селекції). При поступовому підвищенні складності моделі критерій селекції проходить через мінімальне значення. Електронно-обчислювальна машина перебором моделей з поступовим їх ускладненням відшукує мінімум

критерію селекції і тим самим вказує єдину модель оптимальної складності при досить невеликому обсязі апріорної інформації. Обсяг перебору скорочується застосуванням алгоритмів багаторядної селекції подібно до того, як це робиться при селекції рослин і тварин. Саме такі алгоритми реалізуються за допомогою МГУА.

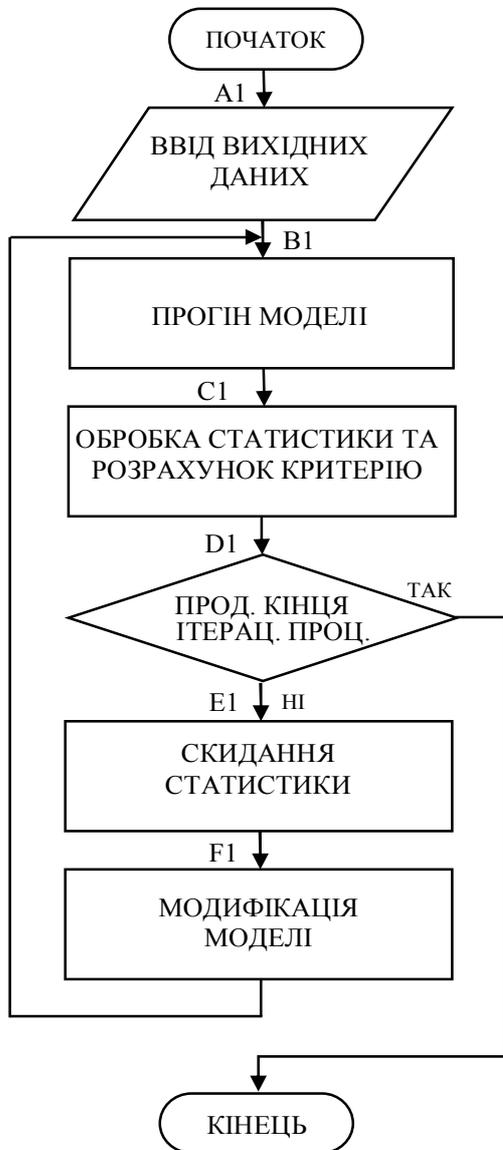


Рис. 1. Схема узагальненого алгоритму розв'язання завдання параметричної оптимізації

При малій величині вибірки, коли при побудові регресійних моделей використати статистичні гіпотези про щільність розподілу неможливо, використовується індуктивний підхід. Відповідно до цього методу послідовно породжуються моделі зростаючої складності до тих пір, поки не буде знайдений мінімум деякого критерію якості моделі. Цей критерій якості називається зовнішнім критерієм, так як під час налаштування моделей і при оцінці якості моделей використовуються різні дані. Досягнення глобального мінімуму зовнішнього критерію при

породженні моделі означає, що модель, яка доставляє такий мінімум, є шуканою.

З довільного вибору вузлів інтерполяції витікає множинність рівнянь регресії для одного і того ж об'єкта. МГУА шляхом додавання до регресійного аналізу деяких прийомів регуляризації рішень, дозволяє знайти єдине оптимальне рівняння регресії. Мета регуляризації полягає у зменшенні помилки на нових точках (вузлах).

Одним із прийомів регуляризації рішень є поділ наявних дослідних даних на дві послідовності (рис. 2): ту, що навчає та перевірочну. Перша з них використовується для визначення коефіцієнтів рівнянь регресії, а друга – для оцінки їх точності. Пошук оптимальної регресійної моделі зводиться до вибору різних варіантів математичних моделей при поступовому збільшенні їх складності. Ускладнення ведеться дискретно: або додаванням нових членів, або підвищенням ступеня полінома, або тим і іншим одночасно. На кожному ряду складності математичної моделі на послідовності, що навчає, будуються регресійні моделі і оцінюється точність на перевірочній послідовності. При цьому виявляється, що середньоквадратична помилка  $\Delta_n$ , підрахована на послідовності, що навчає, безперервно зменшується і досягає нуля при рівності числа коефіцієнтів моделі числу точок навчальної послідовності, що навчає.

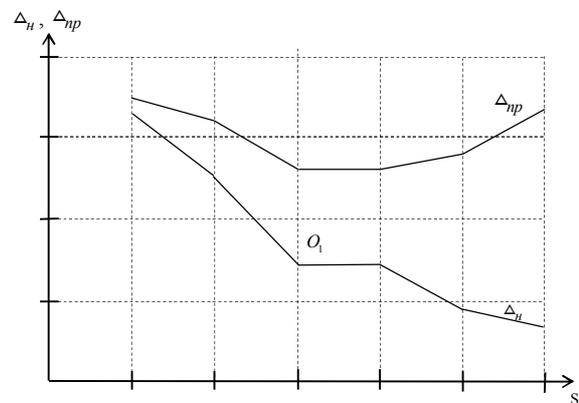


Рис. 2. Залежність середньоквадратичних помилок  $\Delta_n, \Delta_{np}$  від складності

Інакше поводить себе середньоквадратична помилка на перевірочній послідовності  $\Delta_{np}$ . Для неї існує глобальний мінімум, який незалежно від правила наростання складності моделі завжди знаходиться в одній і тій же точці  $O_1$  (рис. 2). Наявність цього мінімуму (мінімуму критерію селекції  $\Delta_{np}$ ) гарантує існування єдиної моделі оптимальної складності. Подальше підвищення складності рівнянь регресії лише погіршує математичну модель.

Ідеї МГУА реалізовані в комбінаторному алгоритмі, розробленому в інституті автоматики АН УРСР [9]. Більш детально розглянемо теоретичні основи алгоритмів параметричної оптимізації. За-

вдання параметричної оптимізації формулюється наступним чином.

Є дійсна функція  $Q(X)$ , визначена в гіперболі  $D$   $N$ -мірного евклідового простору  $R^N$ , тобто:

$$D = \{X \in R^N : a_i \leq x_i \leq b_i, 1 \leq i \leq N\}, \quad (1)$$

де  $A, B \in R^N$  є задані вектори, що визначають інтервали зміни змінних.

Нехай в деякій точці  $X^*$  функція має оптимальне на множині  $D$  значення  $Q(X^*)$ , наприклад, мінімальне, тобто:

$$Q(X^*) = \min Q(X), X \in D, \quad (2)$$

при обмеженнях:

$$g_j(X) \leq 0; j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

Потрібно знайти оцінку  $X_* \in D$  точки  $X^*$ , що задовольняє заданій мірі близькості, тобто таку, щоб:

$$|X_{i^*}^* - X_{i^*}| \leq \varepsilon; i = \overline{1, N}, \text{ або } |Q(X^*) - Q(X_*)| \leq \varepsilon.$$

Стратегія вирішення такого завдання полягає в ототожненні деякої точки  $X$  с точкою  $X^*$  шляхом зіставлення значення функції в цій точці зі значеннями функції всіх інших точках області  $D$ . Оскільки кількість точок  $X^Z (r = \overline{1, k})$ , в яких обчислюється значення функції, обмежено, то кожної стратегії пошуку оцінки  $X_*$  можна поставити у відповідність систему рекурентних співвідношень, яку при початковому наближенні  $X^0$  в загальному вигляді можна представити так:

$$X^Z = \begin{bmatrix} X^0, Q(X^0), g(X^0), \dots, X^{Z-1}, \\ Q(X^{Z-1}), g(X^{Z-1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Після "k" ітерацій наближене значення функції в точці екстремуму вибирається з умови:

$$Q(X_*) = \min Q(X^z), 1 \leq z \leq k. \quad (5)$$

Початкове наближення  $X^0$  спільно з (4) і (5) являє собою математичний запис методу пошукової оптимізації.

Якщо в постановці завдання (1 – 3) обмеження відсутні, то (4) приймає вид:

$$X^Z = F_Z [X^0, Q(X^0), \dots, X^{Z-1}, Q(X^{Z-1})]. \quad (6)$$

В [10, 11] наведені різні методи розв'язання завдання (1 – 3). Різноманіття методів пошуку екстре-

муму породжується як видом і особливостями функції  $Q(X)$ , і обмежень  $g(X)$ , так і способом завдання і видом співвідношень (4) або (6).

На рис. 3 наведено класифікацію завдань, яка побудована на основі особливостей і виду функції  $Q(X)$  і обмежень  $g(X)$ , а на рис. 4 – класифікація методів вирішення екстремальних завдань в залежності від способів завдання рекурентних співвідношень виду (4) або (6).

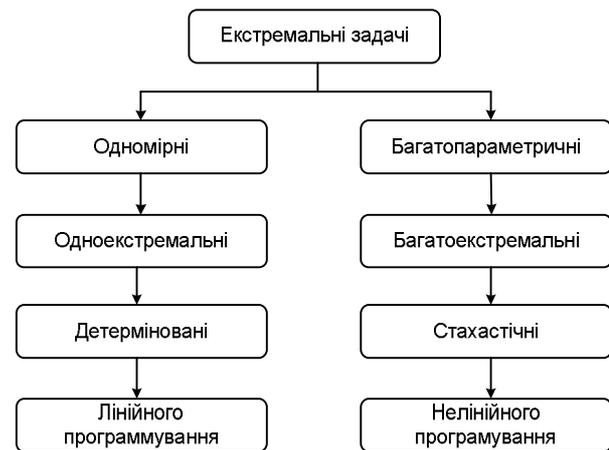


Рис. 3. Класифікація завдань, яка побудована на основі особливостей і виду функції і обмежень

За способом отримання інформації про розташування точки випробування на кожному кроці методи пошуку екстремуму діляться на детерміновані і методи випадкового пошуку.

Детерміновані – це методи, в яких функції  $F_Z$  детерміновані, тобто дозволяють отримувати на кожному кроці пошуку стійкі значення точки  $X^Z$ .

При випадковому пошуку значення  $X^Z$  залежить не тільки від інформації, отриманої на попередніх етапах, а й від використовуваних в (4) і (6) імовірнісних характеристик.

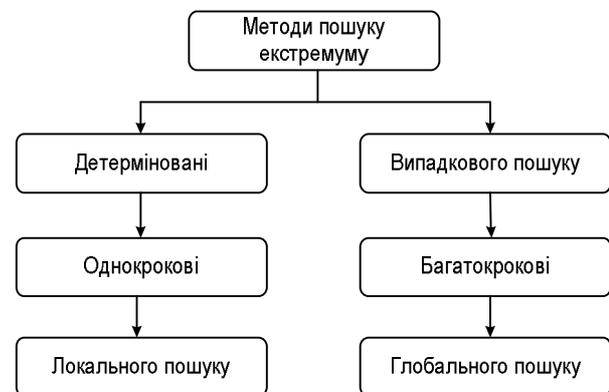


Рис. 4. Класифікація методів рішення екстремальних завдань в залежності від способів завдання рекурентних співвідношень

Багатокрокові методи – це методи, в яких на  $Z$ -му кроці використовується інформація про  $S$  попередніх кроках.

При  $S=1$  метод вироджується у однокроковий. При цьому:

$$X^Z = F_Z \left[ X^{Z-1}, Q(X^{Z-1}) \right].$$

Метод пошуку локальний і в тому випадку, якщо точка належить околиці точки  $X^Z$ , тобто  $X^{Z+1} \in d(X^Z, \varepsilon)$ .

Спосіб визначення початкового наближення  $X^0$  і конкретної сукупності функцій  $\{F_Z\}$  будемо називати алгоритмом пошукової оптимізації, розуміючи, що таке поняття алгоритму є більш частковим порівняно з методом, тому що один і той же метод можна реалізувати різними алгоритмами.

Користуючись наведеними на рис. 3 і 4 класифікаціями, не важко встановити, що завдання системної параметричної оптимізації відносяться до класу багатопараметричних, багатоекстремальних, стохастичних, нелінійного програмування. Це впливає з того, що вид цільової функції  $Q(X)$  невідомий (значення цієї функції в області визначення  $D$  оцінюються в результаті імітаційних експериментів).

Велика кількість параметрів, частина з яких цілочисельні, не спонукають до впевненості в унімодальності  $Q(X)$ .

Оцінки значень функції, отримані в результаті дослідження імітаційних моделей, носять статистичний характер.

Багатопараметричність завдання і статистичний характер оцінок функції не дозволяє використовувати детерміновані методи їх вирішення [11]. У зв'язку з цим подальші напрямки досліджень будуть спрямовані на розробку алгоритмів випадкового пошуку.

Багатоекстремальність  $Q(X)$  вимагає, щоб такі алгоритми були орієнтовані на пошук глобального екстремуму, що істотно складніше в порівнянні з пошуком локального екстремуму.

В даний час універсального алгоритму вирішення всього спектру екстремальних завдань немає. У зв'язку з цим прийнято вважати за доцільне мати каталог алгоритмів, систематизованих за рядом ознак, що дозволяє:

– поставити у відповідність конкретної екстремальної задачі групу алгоритмів, потенційно (при відповідному підборі вільних параметрів алгоритму) здатних вирішити цю задачу, та які відрізняються один від одного співвідношенням між складністю обчислення і точністю виходу в екстремум;

– дати рекомендації по “налаштуванню” обраного алгоритму, тобто по підбору його вільних параметрів.

Для синтезу алгоритму пошуку екстремуму зробимо його формальний опис, слідуючи [12].

Алгоритм повинен здійснювати оцінку точки  $X^*$  абсолютного (глобального) екстремуму функції  $Q(X)$  на основі результатів випробувань в точках  $X^Z$ ,  $1 \leq Z \leq k$ , області визначення  $D$ , які в загальному випадку ведуться послідовно. Звідси випливає, що алгоритм повинен містити в собі деякі правила обчислення точки  $X^{Z+1}$  чергового випробування в залежності від результатів попередніх випробувань.

Якщо через  $\omega_Z$  позначити множину трійок такого вигляду:

$$\omega_Z = \left\{ (X^0, Q^0, g^0), \dots, (X^Z, Q^Z, g^Z) \right\}, \quad (7)$$

відповідних точкам і результатами перших  $Z+1$  випробувань, то правила обчислення точки  $X^Z$  кожного чергового випробування можна представити послідовністю функцій:

$$X^{Z+1} = F_Z(\omega_Z), Z = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

При цьому точка  $X_0$  (точка початкового випробування) вважається заданою і становить елемент опису алгоритму.

Функції  $F_Z$  з (8) будемо називати вирішальними функціями.

Для отримання поточних оцінок екстремуму на кожному кроці обчислювального процесу в формулювання алгоритму слід включити послідовність функцій  $E_Z$ , що визначають такі оцінки, а саме:

$$e_Z = E_Z(\omega_Z), Z = 0, 1, 2, \dots \quad (9)$$

При цьому величина  $e_Z$  або грає роль оцінки екстремуму по аргументам, тобто  $e_Z \in D$ , або роль оцінки екстремального значення самої функції  $Q(X^*)$ .

Зупинка обчислювального процесу проводиться при досягненні заданої точності рішення задачі, або по вичерпанню обчислювальних ресурсів.

Для реалізації умов зупинки в алгоритм повинна бути введена ще одна послідовність функцій:

$$\rho^Z = P_Z(\omega_Z), Z = 0, 1, 2, \dots, \quad (10)$$

таких, що якщо при деякому  $\omega_Z$  справедливо  $\rho^Z = 0$ , то  $\rho^{Z+v} = 0, v = 0, 1, 2, \dots$ , незалежно від значень  $\omega^{Z+v}$ .

Обчислювальний процес припиняється після кроку  $Z+T$ , якщо

$$\rho^Z = \rho^{Z+1} = \dots \rho^{Z+T} = 0.$$

За остаточну оцінку екстремуму приймається оцінка  $e^{Z+T}$ .

Таким чином, формально алгоритм пошуку можна представити у вигляді:

$$S = (X^0, \{F_Z\}, \{E_Z\}, \{P_Z\}). \quad (11)$$

## Висновки

У статті розглянуто завдання параметричної оптимізації складних технічних систем, що базується на методі групового урахування аргументів.

Також проведено класифікацію завдань системної параметричної оптимізації.

Крім того, розглянуті теоретичні основи та наданий математичний опис алгоритмів випадкового пошуку екстремуму.

## Список літератури

1. Пермяков О.Ю. Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем військового призначення / О.Ю. Пермяков, Ю.Б. Прибілев, О.О. Дюбанов // *Наука і оборона*. – 2016. – № 2. – С. 48-52.
2. Прибілев Ю.Б. Екологічні аспекти експлуатації, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем / Ю.Б. Прибілев, Д.П. Пашков // *Науково-практичний журнал "Стандартизація, сертифікація, якість"*. – 2016. – № 4(101). – С. 58-65.
3. Клименко А.Н. Использование интеллектуальных методов анализа при обосновании разработки суперкомпьютера / А.Н. Клименко, Н.Ю. Любченко, А.А. Подорожняк // *Системи обробки інформації*. – Вип. 9 (107). – Харків: ХУ ПС, 2012. – С. 177 – 181.

4. Прибілев Ю.Б. Напряжки розвитку бортових комплексів управління космічних апаратів / Ю.Б. Прибілев, А.О. Подорожняк, І.В. Новікова // *Системи озброєння і військова техніка*. – Вип. № 1 (37). – Харків : ХУ ПС, 2014. – С. 201 – 206.

5. Ивахненко А. Г., Принятие решений на основе самоорганизации / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Зайченко, В.Д. Дмитров. – М.: Сов. радио, 1976. – 280 с.

6. Ивахненко А. Г., Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – Київ: Наукова думка, 1985. – 216 с.

7. Зайченко Ю.П. Нечіткий метод групового врахування аргументів та його застосування в задачах прогнозування макроекономічних показників / Ю.П. Зайченко, О.Г. Кебкел, В.Ф. Крачковський // *Наукові вісті НТУУ КПІ*, №2, 2000. – С. 18-26.

8. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – Киев: Техника, 1975. – 312 с.

9. Єфіменко С.М. Застосування паралельних обчислень при моделюванні з використанням комбінаторного алгоритму МГУА / С.М. Єфіменко, В.С. Степашко // *Праці міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2008)»*. Євпаторія, 2008. – Том 3 (частина 1). – С. 121 – 124.

10. Батищев Д.И. Поисквые методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев. – М.: Сов. радио, 1975. – 216 с.

11. Уайлд Д. Методы поиска экстремума / Д. Уайлд. Пер. с англ. под ред. А.А. Фельдбаума. – М.: Наука, 1967. – 267 с.

12. Стронгин Р.Г. Численные методы в многоэкстремальных задачах (информационно-статистические алгоритмы) / Р.Г. Стронгин. – М.: Наука, 1978. – 239 с.

Надійшла до редколегії 9.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ЕЁ РЕШЕНИЮ

Ю.Б. Прибылев, А.А. Подорожняк, Л.М. Сакович

В статье рассмотрено применение метода группового учета аргументов для параметрической оптимизации сложных технических систем. Рассмотрены теоретические основы алгоритмов параметрической оптимизации. Предоставлены аналитические соотношения для решения задачи параметрической оптимизации сложных технических систем. Приведено математическое описание алгоритмов случайного поиска экстремума. Показано, что задача системной параметрической оптимизации относится к классу многопараметрических, многоэкстремальных, стохастических, нелинейного программирования.

**Ключевые слова:** сложные технические системы, параметрическая оптимизация, метод группового учета аргументов.

## THE FORMULATION OF THE PROBLEM OF PARAMETRIC OPTIMIZATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS AND POSSIBLE APPROACHES TO ITS SOLUTION

A.O. Podorozhniak, Yu.B. Pribylev, L.M. Sakovich

The article deals with the application of the method of group account of arguments for parametric optimization of complex technical systems. It also deals with the theoretical basis of the algorithm of parametric optimization. There are provided analytical relations to solve the problem of parametric optimization of complex technical systems. The mathematical description of random search algorithms extreme. It is shown that the problem of the system of parametric optimization belongs to the class of multiparameter, multiextremal, stochastic, non-linear programming.

**Keywords:** complex technical systems, parametric optimization, group method of arguments.

УДК 629.1.07

М.Л. Шуляк

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
имени Петра Василенка

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА ПОЛНОГО УСКОРЕНИЯ АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ ЕГО СОСТАВНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Определение динамических потерь мощности в режиме установившегося движения, является актуальной научной задачей. Одним из наиболее приемлемых для мониторинга параметров является ускорение агрегата, так как его определение экспериментальным путем, последнее время упростилось, вследствие применения датчиков – акселерометров. В работе разработана методика теоретического определения вектора полного ускорения агрегата на основе полученных экспериментальным путем ускорений контрольных точек его составных звеньев при свободном расположении акселерометров.

**Ключевые слова:** трактор, центр масс, ускорение, динамика агрегата.

### Введение

Определение динамических потерь мощности в режиме установившегося движения, является актуальной научной задачей. Решение которой, невозможно без всесторонней оценки динамики функционирования тракторного агрегата при выполнении различных операций растениеводства. Одним из наиболее приемлемых для мониторинга параметров является ускорение агрегата, так как его определение экспериментальным путем, последнее время упростилось, вследствие применения датчиков – акселерометров.

**Анализ источников информации.** В работе [1] определено необходимое число датчиков и рассмотрены различные принципы их установки. Также определены методики определения ускорения центра тяжести для одиночного транспортного средства или трактора при его плоскопараллельном движении. Для реализации методики предложенной в работе [2 – 4] необходимым условием является определение ускорения центра масс всего агрегата (вне зависимости от количества составных звеньев) при его движении в трехмерном пространстве, что в свою очередь требует дальнейшего развития методик теоретической оценки полного ускорения агрегата.

**Цель и постановка задачи.** Целью работы является разработка методики теоретического определения вектора полного ускорения агрегата на основе полученных экспериментальным путем ускорений контрольных точек его составных звеньев при свободном расположении акселерометров.

### Основная часть

Рассмотрим движение агрегата как движение системы двух абсолютно твердых тел, закрепленных на некотором расстоянии друг от друга стационарной связью. Примем, что данная динамическая система перемещается по отношению к неподвижной системе координат  $Oxyz$ , которая задана ортонормированным

базисом  $O\vec{e}_1\vec{e}_2\vec{e}_3$ . Для анализа кинематических и динамических характеристик данной системы примем допущения, которые позволят упростить как процесс составления, так и окончательный вид модели:

- остовы энергетического средства и сельскохозяйственной машины являются абсолютно твердыми телами, так как они представляют собой жесткие конструкции и их деформации пренебрежимо малы. Данное допущение не противоречит шестой аксиоме статике, которая утверждает про сохранность равновесия механической системы при «отвердении» ее элементов;

- связь между элементами системы является идеальной. Данное допущение хоть и имеет спорный характер, т.к. предполагает отсутствие зазоров, износов и деформаций в сочленениях, однако можно говорить о том, что его введение не изменяет характеристик движения системы в целом;

- рассматриваемая динамическая система имеет определенное количество степеней свободы;

- динамика агрегата исследуется на горизонтальной несущей поверхности, что позволяет сократить геометрическое истолкование модели;

- диссипация энергии внутри системы отсутствует. Данное допущение позволяет рассматривать динамическую систему как систему материальных точек и применять к ней все энергетические теоремы динамики без существенных ошибок.

И действительно, основная причина диссипации энергии – гистерезисные явления в контакте «шина-опорная поверхность». Т.к. данные явления характеризуют внутреннюю силу системы, то ее рассмотрение можно опустить.

Рассмотрим перемещение не всей системы целиком, а только ее пяти характерных точек – четырех точек установки датчиков ускорений и точки, определяющей центр масс данной системы. Обозначим каждый датчик соответствующим порядковым номером (считаем, что на тракторе и рабочей маши-

не установлено по два датчика), т.е.  $i = 1 \dots k$ ,  $k = 4$ . Правильной установкой датчика будем считать такую, при которой «внутренняя» ось  $X$  датчика будет коллинеарна продольной оси трактора, ось  $Y$  – ортогональна оси  $X$  и направлена в сторону правого борта агрегата, а ось  $Z$  – вверх и перпендикулярна плоскости  $XY$  – рис. 1.

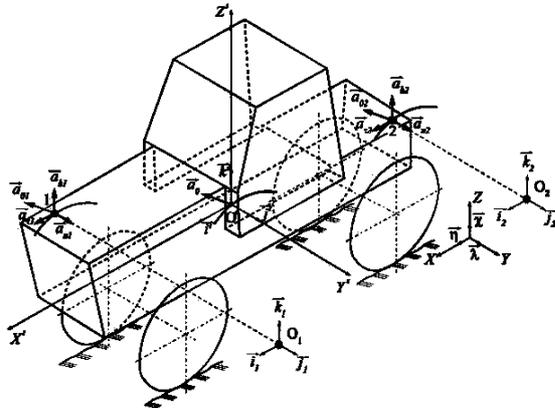


Рис. 1. Кинематическая модель движения тракторного агрегата

Установим в каждую точку  $i$  трактора естественный трехгранник таким образом, чтобы касательный вектор  $\vec{\tau}$  совпадал с «внутренней» осью  $X$  датчика, нормальный вектор  $\vec{n}$  – с осью  $Y$ , а вектор бинормали  $\vec{b}$  – с осью  $Z$ . Тогда, при выполнении технологического процесса, и при нарушении прямолинейного движения агрегата, каждая  $i$  точка трактора ( $i = 1, 2$ ) будет иметь ускорение:

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_{01} + \vec{a}_1^n + \vec{a}_1^\tau + \vec{a}_1^b; \quad (1)$$

$$\vec{a}_2 = \vec{a}_{02} + \vec{a}_2^n + \vec{a}_2^\tau + \vec{a}_2^b, \quad (2)$$

где  $\vec{a}_0 = \vec{a}_{01} = \vec{a}_{02}$  – ускорение поступательного движения центра вращения трактора – ускорение в поступательном движении точки неподвижного аксоида соответствующего датчика, являющейся мгновенным центром поворота трактора (точка  $O_1$  для датчика 1 и точка  $O_2$  для датчика 2). В неподвижной системе координат  $Oxuz$  компоненты данного вектора определяются из зависимостей вида:

$$\vec{a}_{0x} = \frac{dv_{ц.т.}}{dt} \vec{\eta}; \quad \vec{a}_{0y} = \frac{dv_{ц.т.}}{dt} \vec{\lambda}; \quad \vec{a}_{0z} = \frac{dv_{ц.т.}}{dt} \vec{\chi}, \quad (3)$$

где  $v_{ц.т.}$  – скорость поступательного движения центра тяжести трактора относительно неподвижной системы координат  $Oxuz$ .

Для определения остальных слагаемых, рассмотрим движение каждого датчика в пространстве по некоторой кривой как совокупность поступательного движения с ускорением  $\vec{a}_{0i}$  (здесь  $i$  – номер датчика) и вращательного движения с центром вращения в точке  $O_i$  в трех ортогональных плоскостях, определенных ортонормированным подвижным базисом  $O'i'j'k'$ , связанным с центром тяжести

трактора таким образом, что вектор абсцисс  $i'$  коллинеарен с вектором курсового направления движения трактора и расположен на продольной оси последнего, вектор ординат  $j'$  направлен в сторону правого борта агрегата, а вектор аппликат  $k'$  направлен в сторону, противоположную векторному произведению  $i' \times j'$ .

Рассмотрим соприкасающуюся плоскость, для которой вектора  $\vec{a}_{n1}(\vec{a}_{n2})$  и  $\vec{a}_{\tau1}(\vec{a}_{\tau2})$  являются компланарными. Данная плоскость является плоскостью, в которой вектора  $\vec{a}_{ni}^{copr}$  и  $\vec{a}_{\tau i}^{copr}$  характеризуют плоскопараллельное движение трактора в его вращательном движении относительно оси, проходящей через центр поворота  $O_i$  ортогонально этой плоскости. Тогда, вектор  $\vec{a}_{\tau i}^{copr}$  определяет вектор тангенциальной составляющей ускорения вращения каждого датчика в соприкасающейся плоскости. Поэтому, можем записать:

$$\vec{a}_{\tau 1}^{copr} = \vec{\xi}_1^{copr} \times \vec{r}_{01} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{j}_1 & \vec{k}_1 \\ \xi_{1x}^{copr} & \xi_{1y}^{copr} & \xi_{1z}^{copr} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}; \quad (4)$$

$$\vec{a}_{\tau 2}^{copr} = \vec{\xi}_2^{copr} \times \vec{r}_{02} = \begin{vmatrix} \vec{i}_2 & \vec{j}_2 & \vec{k}_2 \\ \xi_{2x}^{copr} & \xi_{2y}^{copr} & \xi_{2z}^{copr} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где  $\xi_{ix}^{copr}$ ,  $\xi_{iy}^{copr}$  и  $\xi_{iz}^{copr}$  – проекции вектора углового ускорения датчика во вращательном движении относительно соответствующего центра поворота  $O_i$  в соприкасающейся плоскости;  $r_{0ix}$ ,  $r_{0iy}$  и  $r_{0iz}$  – проекции радиус-вектора, проведенного из центра поворота  $O_i$  к соответствующему датчику.

Здесь проекции предполагаются определенными относительно осей системы координат, центр которой располагается в соответствующем центре поворота – базисы  $O_1 i_1 j_1 k_1$  и  $O_2 i_2 j_2 k_2$ .

Модули данных векторов могут быть определены из соотношений вида:

$$a_{\tau 1}^{copr} = \xi_1^{copr} r_{01}; \quad a_{\tau 2}^{copr} = \xi_2^{copr} r_{02}, \quad (6)$$

где  $\xi_i^{copr} = \sqrt{(\xi_{ix}^{copr})^2 + (\xi_{iy}^{copr})^2 + (\xi_{iz}^{copr})^2}$  – модуль вектора углового ускорения датчика при вращении в соприкасающейся плоскости.

Если принять, что трактор является абсолютно твердым телом, то можно говорить о том, что углы, описывающие положение трактора в пространстве относительно неподвижной системы координат  $Oxuz$ , соответствуют углам поворота в пространстве естественных трехгранников  $\vec{\tau} \vec{n} \vec{b}$ , связанных с датчиками ускорений, относительно ортогональных осей вращения, проходящих через центры  $O_i$  так, что направление каждой оси определяется базисами  $O_1 i_1 j_1 k_1$  и

$O_2 i_2 j_2 k_2$ . Т.е., зная курсовой угол  $\psi$ , угол крена  $\theta$  и дифферента  $\gamma$  остова трактора, можем определить компоненты вектора углового ускорения в виде:

$$\begin{aligned} \bar{\xi}_{ix}^{\text{comp}} = & (1 - \cos \theta) \left( \bar{i}_i \times \frac{d^2 \bar{i}_i}{dt^2} \right) + \frac{d\theta}{dt} (1 + \cos \theta) \frac{d\bar{i}_i}{dt} + \\ & + \frac{d\theta}{dt} \sin \theta \left( \bar{i}_i \times \frac{d\bar{i}_i}{dt} \right) + \sin \theta \frac{d^2 \bar{i}_i}{dt^2} + \frac{d^2 \theta}{dt^2} \bar{i}_i; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{\xi}_{iy}^{\text{comp}} = & (1 - \cos \gamma) \left( \bar{j}_j \times \frac{d^2 \bar{j}_j}{dt^2} \right) + \frac{d\gamma}{dt} (1 + \cos \gamma) \frac{d\bar{j}_j}{dt} + \\ & + \frac{d\gamma}{dt} \sin \gamma \left( \bar{j}_j \times \frac{d\bar{j}_j}{dt} \right) + \sin \gamma \frac{d^2 \bar{j}_j}{dt^2} + \frac{d^2 \gamma}{dt^2} \bar{j}_j; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{\xi}_{iz}^{\text{comp}} = & (1 - \cos \psi) \left( \bar{k}_k \times \frac{d^2 \bar{k}_k}{dt^2} \right) + \frac{d\psi}{dt} (1 + \cos \psi) \frac{d\bar{k}_k}{dt} + \\ & + \frac{d\psi}{dt} \sin \psi \left( \bar{k}_k \times \frac{d\bar{k}_k}{dt} \right) + \sin \psi \frac{d^2 \bar{k}_k}{dt^2} + \frac{d^2 \psi}{dt^2} \bar{k}_k. \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом расположения координатных осей, модули данных векторов и будут проекциями вектора углового ускорения  $\bar{\xi}_i^{\text{comp}}$  датчика во вращательном движении относительно соответствующего центра поворота  $O_i$ . Кроме того, необходимо заметить, что значения данных компонент будут одинаковы для любой точки трактора при выполнении допущения о абсолютной твердости остова последнего и представляют собой угловое ускорение вращательного движения трактора в целом.

В соприкасающейся плоскости вектор  $\bar{a}_{ni}$  определит вектор нормальной составляющей ускорения вращения каждого датчика. Тогда получим:

$$\bar{a}_{n1}^{\text{comp}} = \bar{\omega}_1^{\text{comp}} \times A_{n1} \quad \text{и} \quad \bar{a}_{n2}^{\text{comp}} = \bar{\omega}_2^{\text{comp}} \times A_{n2}, \quad (10)$$

где  $A_{n1}$  и  $A_{n2}$  – детерминанты вида:

$$A_{n1} = \bar{\omega}_1^{\text{comp}} \times \bar{r}_{01} = \begin{vmatrix} \bar{i}_1 & \bar{j}_1 & \bar{k}_1 \\ \omega_{1x}^{\text{comp}} & \omega_{1y}^{\text{comp}} & \omega_{1z}^{\text{comp}} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}, \quad (11)$$

$$A_{n2} = \bar{\omega}_2^{\text{comp}} \times \bar{r}_{02} = \begin{vmatrix} \bar{i}_2 & \bar{j}_2 & \bar{k}_2 \\ \omega_{2x}^{\text{comp}} & \omega_{2y}^{\text{comp}} & \omega_{2z}^{\text{comp}} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}. \quad (12)$$

где  $\omega_{ix}^{\text{comp}}$ ,  $\omega_{iy}^{\text{comp}}$  и  $\omega_{iz}^{\text{comp}}$  – проекции вектора угловой скорости датчика во вращательном движении относительно соответствующего центра  $O_i$  в соприкасающейся плоскости на оси координат, определенные базисами  $O_i i_i j_i k_i$ . Тогда модули данных векторов:

$$a_{n1}^{\text{comp}} = (\omega_1^{\text{comp}})^2 r_{01} \quad \text{и} \quad a_{n2}^{\text{comp}} = (\omega_2^{\text{comp}})^2 r_{02}, \quad (13)$$

где  $\omega_i^{\text{comp}} = \sqrt{(\omega_{ix}^{\text{comp}})^2 + (\omega_{iy}^{\text{comp}})^2 + (\omega_{iz}^{\text{comp}})^2}$  – модуль вектора угловой скорости вращения датчика в соприкасающейся плоскости, компоненты которого

в базисах  $O_i i_i j_i k_i$  определяются из выражений вида:

$$\bar{\omega}_{ix}^{\text{comp}} = \bar{i}_i \frac{d\theta}{dt} + \frac{d\bar{i}_i}{dt} \sin \theta + \bar{i}_i \times \bar{i}_i (1 - \cos \theta); \quad (14)$$

$$\bar{\omega}_{iy}^{\text{comp}} = \bar{j}_j \frac{d\gamma}{dt} + \frac{d\bar{j}_j}{dt} \sin \gamma + \bar{j}_j \times \bar{j}_j (1 - \cos \gamma); \quad (15)$$

$$\bar{\omega}_{iz}^{\text{comp}} = \bar{k}_k \frac{d\psi}{dt} + \frac{d\bar{k}_k}{dt} \sin \psi + \bar{k}_k \times \bar{k}_k (1 - \cos \psi). \quad (16)$$

Рассмотрим спрямляющую плоскость. Для данной плоскости компланарными будут вектора  $\bar{a}_{b1}$  ( $\bar{a}_{b2}$ ) и  $\bar{a}_{t1}$  ( $\bar{a}_{t2}$ ). Данная плоскость является плоскостью, в которой вектора  $\bar{a}_{bi}^{\text{comp}}$  и  $\bar{a}_{ti}^{\text{comp}}$  характеризуют плоскопараллельное движение трактора в его вращательном движении относительно оси, проходящей через центр поворота  $O_i$  ортогонально этой плоскости. Вектор  $\bar{a}_{ti}^{\text{comp}}$  – вектор тангенциальной составляющей ускорения вращения каждого датчика в спрямляющей плоскости. Поэтому:

$$\bar{a}_{t1}^{\text{comp}} = \bar{\xi}_1^{\text{comp}} \times \bar{r}_{01} = \begin{vmatrix} \bar{i}_1 & \bar{j}_1 & \bar{k}_1 \\ \xi_{1x}^{\text{comp}} & \xi_{1y}^{\text{comp}} & \xi_{1z}^{\text{comp}} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}; \quad (17)$$

$$\bar{a}_{t2}^{\text{comp}} = \bar{\xi}_2^{\text{comp}} \times \bar{r}_{02} = \begin{vmatrix} \bar{i}_2 & \bar{j}_2 & \bar{k}_2 \\ \xi_{2x}^{\text{comp}} & \xi_{2y}^{\text{comp}} & \xi_{2z}^{\text{comp}} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}, \quad (18)$$

где  $\xi_{ix}^{\text{comp}}$ ,  $\xi_{iy}^{\text{comp}}$  и  $\xi_{iz}^{\text{comp}}$  – проекции вектора углового ускорения датчика во вращательном движении относительно соответствующего центра поворота  $O_i$  в спрямляющей плоскости.

Компоненты, модули которых равны данным проекциям определяются из зависимостей (7) – (9).

Для данной плоскости вектор  $\bar{a}_{bi}$  определит вектор нормальной составляющей ускорения вращения каждого датчика. Тогда:

$$\bar{a}_{b1}^{\text{comp}} = \bar{\omega}_1^{\text{comp}} \times B_{b1} \quad \text{и} \quad \bar{a}_{b2}^{\text{comp}} = \bar{\omega}_2^{\text{comp}} \times B_{b2}, \quad (19)$$

где  $B_{b1}$  и  $B_{b2}$  – детерминанты вида:

$$B_{b1} = \bar{\omega}_1^{\text{comp}} \times \bar{r}_{01} = \begin{vmatrix} \bar{i}_1 & \bar{j}_1 & \bar{k}_1 \\ \omega_{1x}^{\text{comp}} & \omega_{1y}^{\text{comp}} & \omega_{1z}^{\text{comp}} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}, \quad (20)$$

$$B_{b2} = \bar{\omega}_2^{\text{comp}} \times \bar{r}_{02} = \begin{vmatrix} \bar{i}_2 & \bar{j}_2 & \bar{k}_2 \\ \omega_{2x}^{\text{comp}} & \omega_{2y}^{\text{comp}} & \omega_{2z}^{\text{comp}} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}. \quad (21)$$

где  $\omega_{ix}^{\text{comp}}$ ,  $\omega_{iy}^{\text{comp}}$  и  $\omega_{iz}^{\text{comp}}$  – проекции вектора угловой скорости датчика во вращательном движении относительно центра  $O_i$  в спрямляющей плоскости.

Компоненты, модули которых равны соответствующим проекциям, определяются из зависимостей

(14) – (16). Для плоскості, в якій вектори  $\vec{a}_{b1}$  ( $\vec{a}_{b2}$ ) і  $\vec{a}_{п1}$  ( $\vec{a}_{п2}$ ) являються компланарними – нормальна плоскість – можна говорити про те, що вектори  $\vec{a}_{b1}^{\text{норм}}$  і  $\vec{a}_{п1}^{\text{норм}}$  характеризують плоскопаралельне рух трактора в його вращательному русі відносно осі, що проходить через центр повороту  $O_1$  ортогонально нормальній плоскості. Вектор тангенціальної складової прискорення вращення кожного датчика в нормальній плоскості – вектор  $\vec{a}_{b1}^{\text{норм}}$  – визначиться з залежності:

$$\vec{a}_{b1}^{\text{норм}} = \vec{\xi}_1^{\text{норм}} \times \vec{r}_{01} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{j}_1 & \vec{k}_1 \\ \xi_{1x}^{\text{норм}} & \xi_{1y}^{\text{норм}} & \xi_{1z}^{\text{норм}} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}; \quad (22)$$

$$\vec{a}_{b2}^{\text{норм}} = \vec{\xi}_2^{\text{норм}} \times \vec{r}_{02} = \begin{vmatrix} \vec{i}_2 & \vec{j}_2 & \vec{k}_2 \\ \xi_{2x}^{\text{норм}} & \xi_{2y}^{\text{норм}} & \xi_{2z}^{\text{норм}} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}, \quad (23)$$

де  $\xi_{ix}^{\text{норм}}$ ,  $\xi_{iy}^{\text{норм}}$  і  $\xi_{iz}^{\text{норм}}$  – проекції вектора кулового прискорення датчика в вращательному русі відносно відповідного центру повороту  $O_i$  в нормальній плоскості.

Компоненти, модулі яких рівні даним проекціям визначаються з залежностей (7) – (9).

Для даної плоскості вектор  $\vec{a}_{пi}$  визначить вектор нормальній складової прискорення вращення кожного датчика. Тоді:

$$\vec{a}_{п1}^{\text{норм}} = \vec{\omega}_1^{\text{норм}} \times C_{п1} \quad \text{і} \quad \vec{a}_{п2}^{\text{норм}} = \vec{\omega}_2^{\text{норм}} \times C_{п2}, \quad (24)$$

де  $C_{п1}$  і  $C_{п2}$  – детермінанти виду:

$$C_{п1} = \vec{\omega}_1^{\text{норм}} \times \vec{r}_{01} = \begin{vmatrix} \vec{i}_1 & \vec{j}_1 & \vec{k}_1 \\ \omega_{1x}^{\text{норм}} & \omega_{1y}^{\text{норм}} & \omega_{1z}^{\text{норм}} \\ r_{01x} & r_{01y} & r_{01z} \end{vmatrix}, \quad (25)$$

$$C_{п2} = \vec{\omega}_2^{\text{норм}} \times \vec{r}_{02} = \begin{vmatrix} \vec{i}_2 & \vec{j}_2 & \vec{k}_2 \\ \omega_{2x}^{\text{норм}} & \omega_{2y}^{\text{норм}} & \omega_{2z}^{\text{норм}} \\ r_{02x} & r_{02y} & r_{02z} \end{vmatrix}. \quad (26)$$

де  $\omega_{ix}^{\text{норм}}$ ,  $\omega_{iy}^{\text{норм}}$  і  $\omega_{iz}^{\text{норм}}$  – проекції вектора кулової швидкості датчика в вращательному русі відносно відповідного центру  $O_i$  в нормальній плоскості. Компоненти, модулі яких рівні відповідним проекціям, визначаються з залежностей (14) – (16).

## Вывод

Таким чином, розглядаючи суперпозицію розглянутих вращень можна говорити про те, що трактор виконує в просторі складне рух, яке є сукупністю поступального руху його центру ваги і вращательного руху всього трактора навколо миттєвої нерухомої осі вращення або навколо однієї нерухомої точки.

## Список литературы

1. Метод парціальних прискорень і його застосування в динаміці мобільних машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клець, А.И. Коробко, В.В. Задорожня – Х.: Миськдрук, 2012.–220 с.
2. Оцінка додаткових енергетических втрат при установившемся режимі руху транспортно тягових машин / М.А. Подригало, Н.П. Артемов, Д.В. Абрамов, М.Л. Шуляк // Механіка та машинобудування «ХПІ». – Харків: ХПІ, 2015. – Вип. № 9. – С. 98 – 107.
3. Оцінка функціонування сільськогосподарського агрегату за динамічними критеріями / М.Л. Шуляк, А.Т. Лебедев, М.П. Артьомов, С.І. Калінін // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2016. – № 4. – С. 218 – 226.
4. Шуляк М.Л. Область функціонування машинотракторного агрегату, що апроксимована поверхнею другого порядку / М.Л. Шуляк // Технічні науки: зб. наук. праць ВНАУ. – Вінниця: ВНАУ, 2016. – Вип. 1(93), т. 1. – С. 28 – 31.

Надійшла до редколегії 6.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Т. Лебедев, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

## ВИЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРА ПОВНОГО ПРИСКОРЕННЯ АГРЕГАТУ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ПРИСКОРЕННЯ ЙОГО СКЛАДЕНИХ ЛАНОК

М.Л. Шуляк

Визначення динамічних втрат потужності в режимі сталого руху, є актуальною науковою задачею. Одним з найбільш прийнятних для моніторингу параметрів є прискорення агрегату, так як його визначення експериментальним шляхом, останнім часом спростилося, внаслідок застосування датчиків – акселерометрів. В роботі розроблена методика теоретичного визначення вектора повного прискорення агрегату на основі отриманих експериментальним шляхом прискорень контрольних точок його складових ланок при вільному розташуванні акселерометрів.

**Ключові слова:** трактор, центр мас, прискорення, динаміка агрегату.

## DETERMINATION VECTOR OF FULL ACCELERATION UNIT BASED ON EXPERIMENTAL ACCELERATE ITS CONSTITUTING UNITS

M.L. Shulyak

Determination of the dynamic power losses in the mode of steady motion is urgent scientific challenge. One of the most suitable parameters for monitoring is the acceleration of the tractor, since its definition by experiment, recently simplified, due to the use of sensors-accelerometers. In this work developed a technique of theoretical determining of vector of unit's complete acceleration based on experimentally obtained acceleration control points of its constituent units at a free location accelerometers.

**Keywords:** tractor, center of mass, acceleration, dynamics unit.

# Математичні моделі та методи

УДК 519. 232.2

В.Ю. Дубницький, А.И. Ходырев

Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ «Университет банковского дела», Харьков

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ НЕАНАЛИТИЧЕСКИХ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОЦЕНКИ СОГЛАСОВАННОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

*Поставлена задача проверки наличия резко выделяющихся данных в выборке из трёх одинаково распределённых случайных величин. В работе рассмотрены следующие распределения: Вейбулла, гамма, нормальное распределение существенно-положительных величин (полунормальное распределение), обратное распределение Гаусса (распределение Вальда), Лапласа, логистическое распределение, распределение Максвелла, нормальное распределение. По результатам статистического моделирования установлено, что, независимо от исходных распределений, распределение отношения «размах выборки / медиана» для выборок из трёх наблюдений распределено по логлогистическому закону. Приведены способы получения оценок параметров логлогистического распределения по методу моментов и методу максимума правдоподобия, получены выражения для определения величины доверительных интервалов полученных оценок. Определена нижняя граница правосторонней критической области для принятия решения о согласованности результатов вычислений при использовании критерия «размах выборки/медиана выборки».*

**Ключевые слова:** размах выборки, медиана, распределение Вейбулла, гамма-распределение, нормальное распределение существенно-положительных величин (полунормальное распределение), обратное распределение Гаусса (распределение Вальда), распределение Лапласа, логистическое распределение, распределение Максвелла, нормальное распределение, логарифмически логистическое распределение, метод моментов, метод максимума правдоподобия, оценка параметров логарифмически логистического распределения.

### Введение

До середины XX века даже очень ответственные показатели свойств материалов оценивали по значению средней арифметической, полученной по результатам трёх параллельных испытаний [1, 2]. Ситуация резко изменилась после выхода работы [3], ставшей ныне классической. Проблема малых выборок при оценке свойств материалов и изделий из них приобрела новый смысл после введения понятия принципиально малой выборки [4], то есть такой выборки, которая в данной ситуации не может быть увеличена ни при каких обстоятельствах. Но и при этих условиях речь шла о выборках, содержащих не менее четырех наблюдений. Для различного рода статистических выводов были предложены ядерные методы (парзеновские окна). Современное состояние этих методов изложено в работах [5, 6]. В последние годы интерес к проблеме трёх измерений вновь появился, но уже в связи с новыми обстоятельствами [7].

**Анализ литературы.** Статистический анализ проблемы трёх измерений, в его современном понимании, был начат в работах [8, 9]. В работе [8] была рассмотрена выборка из трёх наблюдений и изучено распределение следующих статистик: отношение разности двух ближайших измерений к

размаху выборки, половины разности двух ближайших наблюдений и среднее из двух ближайших наблюдений. Исходными распределениями генеральной совокупности приняты нормальное, равномерное, треугольное распределения. Для указанных выше статистик определены их математические ожидания. Процентные точки определены только для первой из названных статистик, что существенно ограничивает область применения результатов работы. В работе [9] рассмотрена задача отбраковки сомнительных наблюдений при несколько иных условиях и выборках с объёмом от пяти наблюдений. В рассматриваемой работе принято, что известны параметры исходного нормального распределения, параметры нормального распределения, засоряющего исходное и доля «сорных» наблюдений. При этих допущениях в работе [9] рассчитаны таблицы процентных точек для критериев определения сомнительных наблюдений. В качестве критерия использовано отношение разности наибольшего (наименьшего) значения выборки и оценки математического ожидания этой выборки к своему среднеквадратическому отклонению. К недостаткам такого подхода по нашему мнению следует отнести то, что вследствие неустойчивости оценок параметров к резко выделяющимся значениям эти характеристики могут давать искаженные результаты.

В работе [7] задача оценивания результатов трёх измерений использована для обобщения результатов контроля непрерывных технологических процессов. В этой работе значение каждой из переменных трактуется как результат определения состояния системы, выполненный одним из трёх независимых методов. По мнению авторов работы [7] в простейшей постановке задача о трёх измерениях  $x_1, x_2, x_3$  неизвестной величины  $x$  сводится к построению «по возможности более точной оценки  $\hat{\delta}$  величины  $x$ ». В качестве такой оценки в работах [7, 10] рекомендуется применение различных видов средних величин и иных линейных и нелинейных оценок.

Особо следует рассмотреть используемые в этих работах виды средних величин. Современное состояние теории средних величин изложено в работах [11...13].

Пусть  $C = x_1, x_2, \dots, x_n$  – действительные числа и  $D = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Если

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \max(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (1)$$

то функцию  $D$  называют средней по Коши или слабой средней, определенной на множестве  $X$ .

Пусть

$$K = (C, \lambda, \lambda) \lambda \geq 0; \quad (2)$$

и  $D = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – действительная и непрерывная функции. (3)

Тогда для средней величины по Колмогорову (сильной средней) должны быть выполнены следующие условия:  
однородности:

$$f(\lambda x_1, \lambda x_2, \dots, \lambda x_n) = \lambda f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (4)$$

симметрии:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_n) = f(x_i, x_2, \dots, x_n, x_{i+1}, \dots, x_{i-1}); \quad (5)$$

возрастания:

$$(x_1 \leq y_1, \dots, x_i \leq y_i, \dots, x_n \leq y_n) \Rightarrow (f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq f(y_1, y_2, \dots, y_n)). \quad (6)$$

Рассмотрим величину:

$$m A = \sqrt[m]{x_1^m + x_2^m + \dots + x_n^m}, \quad (7)$$

называемую средней степенной. Очевидно, что при  $m = 1$  получим среднюю арифметическую величину, при  $m = -1$  получим среднюю гармоническую, при  $m = 2$  среднеквадратическую величину.

В работе [11] показано, что:

$$\lim_{m \rightarrow 0} m A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i = \left( \prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}. \quad (8)$$

По классификации, принятой в работе [11], эти виды средних величин относят к классу аналитических средних. Выражения для их вычисления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Современные представления аналитических средних величин

Вид средней	Дискретные величины	Непрерывные величины
Средняя арифметическая	$A = (x_1 + \dots + x_n)/n$	$A = \int_a^b xp(x)dx / \int_a^b p(x)dx$
Средняя геометрическая	$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$	$G = \exp\left(\int_a^b \ln xp(x)dx / \int_a^b p(x)dx\right)$
Средняя гармоническая	$H = n/(1/x_1 + \dots + 1/x_n)$	$H = \int_a^b p(x)dx / \int_a^b (p(x)/x) dx$

Неаналитическими средними в работе [11] названы медиана выборки, её максимальное и минимальное значения.

Медиану определяют по условию:

$$me = \begin{cases} x_{[(n+1)/2]}, & n = 2k + 1; \\ \frac{1}{2}(x_{[n/2]} + x_{[(n+1)/2]}), & n = 2k. \end{cases} \quad (9)$$

Максимальное и минимальное значение выборки может быть получено из степенной средней в результате предельных переходов, которые приведены в условиях (10) и (11). Для упорядоченной последовательности  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$  максимальный

элемент можно определить по условию:

$$x_n = \lim_{m \rightarrow \infty} x_n \cdot \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{x_n} \right]^{1/m}; \quad (10)$$

минимальный элемент можно определить по условию:

$$x_1 = \lim_{m \rightarrow \infty} x_1 \cdot \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{x_1} \right]^{1/m}. \quad (11)$$

Следует отметить, что описанные в этих работах методы не могут ответить на вопрос о наличии непротиворечивых результатов в полученных тройках измерений. Методы, ориентированные на отбра-

ковку выделяющихся наблюдений, изложенные в работах [3, 4, 8, 9] требуют большой объем исследуемой выборки, методы, изложенные в работах [7, 10] направлены на получение некоей обобщённой оценки. Таким образом, следует считать, что задача о наличии непротиворечивых данных в выборке из трех наблюдений в доступной авторам литературе в полном объеме не рассмотрена.

### Постановка задачи

Определим метод вычислений (М) предназначенный для решения какой-либо задачи в виде:

$$M = \langle S, A, Pr, H \rangle; \quad (12)$$

где S – математическая модель задачи, A – алгоритм реализации принятой математической задачи, Pr – программная реализация алгоритма, H – аппаратная реализация программы. Методы вычислений будем

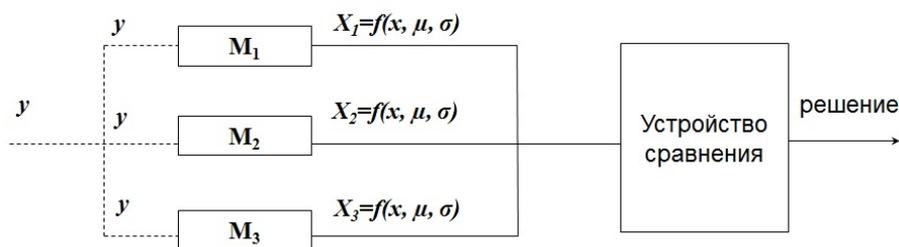


Рис. 1. Схема проведения эксперимента: y – входные данные, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> – методы расчёта; X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> – результаты расчёта

Входные данные Y, одинаковые для всех трёх методов, преобразуют в результаты вычислений тремя различными методами. Результаты вычислений, полученных этими методами, принимают одинаково распределёнными случайными величинами с известным законом распределения и его параметрами. Устройство сравнения по разработанному в работе алгоритму вырабатывает решение о наличии (отсутствии) в результатах вычислений резко выделяющихся (противоречивых данных)

### Полученные результаты

Сведения об использованных в работе законах распределения, моделирующих результаты вычислений, приведены в табл. 2.

Для всех рассмотренных законов распределения их параметры определены при условии, что среднее значение генерируемой последовательности  $\bar{x} = 10$ ; среднеквадратическое отклонение  $s = 1$ . Способ решения такой задачи описан в работе [14]. Результаты приведены в табл. 3.

Для проведения численных экспериментов использовали следующую процедуру. Для каждого указанного в табл. 2, 3 закона распределения получали выборку псевдослучайных чисел  $X = x_1, x_2, \dots, x_g$ , в нашем случае  $g = 300$ . После чего из этой выборки формировали тройки чисел:

считать различными, если они отличаются, хотя бы по одному из признаков, названных в условии (12). При выполнении особо ответственных вычислений, как правило, выполняют их диверсификацию. На практике это приводит к выполнению расчетов различными методами и сравнению полученных результатов с целью проверки их непротиворечивости. В рамках данной работы принято, что количество различных методов равно трём.

**Цель работы** – разработка статистически обоснованного правила принятия решения для оценки непротиворечивости результатов диверсификации вычислительного процесса.

### Исходные допущения

Поставленная в работе задача (цель работы) была решена по результатам численного моделирования. Схема проведения эксперимента показана на рис. 1.

$$T = \left\langle (x_1, x_2, x_3)_1 \dots (x_{g-2}, x_{g-1}, x_g)_n \right\rangle, \quad (13)$$

$$n = g/3, \quad n = 100.$$

Каждая из этих троек имитировала три независимых результата вычислений. Для каждой тройки вычисляли функцию вида:

$$X_{li} = \frac{\max(x_{i-1}, x_i, x_{i+1}) - \min(x_{i-1}, x_i, x_{i+1})}{\text{med}(x_{i-1}, x_i, x_{i+1})}, \quad (14)$$

$$i = 2, \dots, n-1.$$

Величина  $X_{li}$  – это отношение неаналитических средних, характеризующих данную тройку чисел. Медиана выбрана благодаря её свойству робастности (устойчивости), что обосновано в работе [15].

Таким образом, условие (14) – это функция неаналитических средних величин. В результате применения системы Statgraphics XV.1 установлено, что для всех упомянутых в табл. 2, 3 исходных законов распределения распределение величины, определяемой условием (14), то есть распределение отношения размаха выборки к своей медиане, подчиняется закону логарифмически логистического (логлогистического) распределения. Подробно свойства этого распределения описаны в работе [16], получение оценок параметров этого распределения и их свойства описаны в работе [17]. Плотность этого распределения имеет вид:

Таблиця 2

Законы распределения случайных величин, использованных для моделирования результатов вычислений

Наименование закона распределения	Функция плотности закона распределения
Распределение Вейбулла	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} x^{\alpha-1} \exp\left\{-\left(x/\beta\right)^\alpha\right\}$
Гамма-распределение	$f(x) = \lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} / \Gamma(\alpha)$
Нормальное распределение существенно-положительных величин (полуноормальное распределение)	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$
Обратное распределение Гаусса (распределение Вальда)	$f(x) = \frac{1}{x} \cdot \frac{\sqrt{\beta}}{\exp(z/2)} \Phi\left[\sqrt{\beta} \left(\frac{e^z - 1}{e^{z/2}}\right)\right]; z = \ln(x/\theta)$
Распределение Лапласа	$f(x) = \frac{\lambda}{2} \exp(-\lambda x-\mu )$
Логистическое распределение	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \frac{\exp(z)}{[1 + \exp(z)]^2}; z = \frac{x-\mu}{\sigma}$
Распределение Максвелла	$f(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{(x-\theta)^2}{\beta^3} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\theta}{\beta}\right)^2\right]$
Нормальное распределение	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(x-\mu)^2 / (2\sigma^2)\right]$

Таблиця 3

Численные значения параметров законов распределения случайных величин, использованных для моделирования результатов вычислений

Наименование закона распределения	Численные значения параметров законов распределения случайных величин
Распределение Вейбулла	$\alpha=12,15; \beta=1,043$
Гамма-распределение	$\alpha=12,15; \lambda=100$
Полуноормальное распределение	$\mu=8,68; \sigma=1,66$
Распределение Вальда	$\theta=10; \beta=100$
Распределение Лапласа	$\lambda=0,144; \mu=10$
Логистическое распределение	$\mu=10; \sigma=1$
Распределение Максвелла	$\beta=1,48; \theta=7,64$
Нормальное распределение	$\mu=10; \sigma=1$

$$f(X) = \frac{1}{\sigma X} \cdot \frac{\exp z}{[1 + \exp z]^2}, \quad (15)$$

где  $z = \frac{\ln X - \mu}{\sigma}, X > 0.$  (16)

Подставив условие (16) в (15) получим выражение:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma X} \cdot \frac{\exp((\ln X - \mu)/\sigma)}{[1 + \exp((\ln X - \mu)/\sigma)]^2}, \quad (17)$$

которое, после упрощения, примет вид:

$$f(X) = e^{\mu/\sigma} X^{(1-\sigma)/\sigma} / \left(\sigma \left(X^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma}\right)^2\right). \quad (18)$$

В условиях (15...18) принято, что  $\mu$  – параметр масштаба,  $-\infty < \mu < \infty$ ;  $\sigma$  – параметр формы,

$0 < \sigma < \infty$ . В первом приближении оценки  $\hat{\mu}, \hat{\sigma}$  параметров  $\mu, \sigma$  получены методом моментов. При получении этих оценок следует учесть, что, как показано в работе [17], при  $\sigma \geq 1$  не существует математического ожидания, при  $\sigma \geq 0,5$  не существует среднеквадратического отклонения. Используя приведенные в [17] соотношения получим следующие оценки параметров логлогистического закона распределения. медиана:

$$\hat{I}_{\hat{a}_X} = e^\mu; \quad (19)$$

математическое ожидание:

$$M_X = e^\mu \Gamma(1 + \sigma) \Gamma(1 - \sigma); \quad (20)$$

дисперсия:

$$s^2 = e^{2\mu} \left[ \Gamma(1 + 2\sigma) \Gamma(1 - 2\sigma) - (\Gamma(1 + \sigma) \Gamma(1 - \sigma))^2 \right]; \quad (21)$$

коэффициент вариации:

$$v = \frac{s}{m} = \frac{\sqrt{\Gamma(1 + 2\sigma) \Gamma(1 - 2\sigma) - [\Gamma(1 + \sigma) \Gamma(1 - \sigma)]^2}}{\Gamma(1 + \sigma) \Gamma(1 - \sigma)}. \quad (22)$$

Численное значение  $\hat{\sigma}$  параметра  $\sigma$  определено из условия (22). Используя свойства гамма-функции, указанные в работе [18]:

$$\Gamma(z+1) = z\Gamma(z), \Gamma(z) \approx \sqrt{\frac{2\pi}{z}} \cdot e^{-z} z^z \left(1 + \frac{1}{12z}\right); \quad (23)$$

получим, что:

$$v = \frac{\sqrt{2\sigma \Gamma(2\sigma) \Gamma(1 - 2\sigma) - [\sigma \Gamma(\sigma) \Gamma(1 - \sigma)]^2}}{\sigma \Gamma(\sigma) \Gamma(1 - \sigma)}. \quad (24)$$

Принимая во внимание указанные выше ограничения на область допустимых значений параметра формы ( $\sigma < 0,5$ ), величина  $\hat{\sigma}$  – корень уравнения (24) – определена методом половинного деления [19]. Используя условие (20) оценка  $\hat{\mu}$  параметра масштаба  $\mu$  определена в виде:

$$\hat{\mu} = \ln \left( m / \left( \hat{\sigma} \Gamma(\hat{\sigma}) \Gamma(1 - \hat{\sigma}) \right) \right). \quad (25)$$

Оценки, полученные по методу моментов, использованы в качестве начальных в процедуре получения оценок по методу максимума правдоподобия [20]. С учётом условия (17) функция правдоподобия для логлогистической плотности вероятности примет вид:

$$L(x; \mu, \sigma) = \prod_{j=1}^n \frac{e^{\mu/\sigma} X_j^{(1-\sigma)/\sigma}}{\sigma \left( X_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma} \right)^2}. \quad (26)$$

Логарифм функции правдоподобия примет вид:

$$\begin{aligned} \ln L(x; \mu, \sigma) &= n \cdot \mu / \sigma + \\ &+ \frac{1-\sigma}{\sigma} \sum_{j=1}^n \ln x_j - n \ln \sigma - 2 \sum_{j=1}^n \ln \left( x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma} \right). \end{aligned} \quad (27)$$

Исходя из условий использования метода максимума правдоподобия, потребуем выполнение условий:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = 0, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \sigma} = 0. \quad (28)$$

Выполняя условия (28) получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{n}{\sigma} - 2e^{\mu/\sigma} \sum_{j=1}^n \left[ \sigma \left( x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma} \right) \right]^{-1} = 0; \\ \frac{2}{\sigma^2} \sum_{j=1}^n \frac{x_j^{1/\sigma} \ln x_j + \mu e^{\mu/\sigma}}{x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma}} - \\ - \left( \frac{n\mu}{\sigma^2} + \frac{1}{\sigma^2} \sum_{j=1}^n \ln x_j + \frac{n}{\sigma} \right) = 0. \end{cases} \quad (29)$$

Принимая оценки параметров  $\hat{\sigma}, \hat{\mu}$ , полученные методом моментов, в качестве начальных и решая систему (29) получим значения  $\tilde{\sigma}, \tilde{\mu}$  - оценки параметров логлогистического закона распределения, полученные по методу максимума правдоподобия. В табл. 4 приведены численные значения полученных оценок.

Результатом данного этапа работы следует считать установление того факта, что для распределений, перечисленных в табл. 4, распределение отношения размаха выборки к медиане для выборки из трёх наблюдений не зависит от исходных распределений. Полученный результат позволил получить значения правосторонних процентных точек распределения отношения вида (14), которые приведены в табл. 5.

Таблица 4

Параметры логлогистического закона распределения отношения «размах выборки / медиана выборки»

Вид закона распределения	Выборочные параметры закона распределения и его числовые характеристики				
	Среднее значение, $\bar{X}_1$	Среднеквадратическое отклонение, s	Медиана, $\hat{\Gamma}_{\hat{a}_X}$	Параметр масштаба, $\mu$	Параметр формы, $\sigma$
Распределение Вейбулла	1,576	0,828	1,421	0,3506	0,145
Гамма-распределение	2,588	1,831	2,156	0,768	0,253
Полунормальное распределение	12,450	31,079	12,450	2,522	0,387
Распределение Вальда	5,875	8,228	4,153	1,423	0,353
Распределение Лапласа	2,141	0,864	1,986	0,686	0,140
Логистическое распределение	2,372	2,493	1,965	0,675	0,199
Распределение Максвелла	4,024	6,185	2,997	1,097	0,286
Нормальное распределение	2,288	1,163	2,018	0,702	0,221

Таблица 5

Нижняя граница правосторонней критической области критерия «размах выборки / медиана выборки»

Вид закона распределения	Уровни доверительной вероятности $\alpha$				
	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
Распределение Вейбулла	2,177	0,025	0,01	3,061	3,868
Гамма-распределение	4,541	5,447	6,895	8,227	12,375
полунормальное распределение	38,908	51,393	73,702	96,566	180,32
распределение Вальда	11,742	15,136	21,029	26,906	47,556
Распределение Лапласа	2,999	3,316	3,778	4,166	5,223
Логистическое распределение	3,530	4,073	4,903	5,634	7,767
Распределение Максвелла	6,956	8,545	11,152	13,619	21,605
Нормальное распределение	3,868	4,534	5,571	6,501	9,286

Эти результаты позволили сформулировать следующее правило принятия решения. Если величина критерия «размах выборки/медиана выборки» для соответствующего закона распределения исходных данных и принятого уровня доверительной вероятности  $\alpha$  меньше табличного значения, то итог вычислений не содержит резко выделяющихся результатов.

Для определения доверительных интервалов оценок параметров логлогистического распределения, полученных методом максимума правдоподобия в соответствии с работой [20], следует определить элементы информационной матрицы Фишера:

$$\begin{pmatrix} \text{Var}(\mu) & \text{Cov}(\mu, \sigma) \\ \text{Cov}(\mu, \sigma) & \text{Var}(\sigma) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\partial^2 L}{\partial \mu^2} & -\frac{\partial^2 L}{\partial \mu \partial \sigma} \\ -\frac{\partial^2 L}{\partial \mu \partial \sigma} & -\frac{\partial^2 L}{\partial \sigma^2} \end{pmatrix}^{-1}, \quad (30)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma}$

Элементы матрицы (30) примут вид:

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \mu^2} = -2 \sum_{j=1}^n \frac{\sigma^{\mu/\sigma} x_j^{1/\sigma}}{\sigma^2 (x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma})^2}, \quad (31)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma};$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \sigma^2} = \frac{2n\mu}{\sigma^3} + \frac{2}{\sigma^3} \sum_{j=1}^n \ln x_j + \frac{n}{\sigma^2} - 2H; \quad (32)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma};$

$$H = \frac{A + BC + 2\mu\sigma e^{2\mu/\sigma}}{Q}; \quad A = \sum_{j=1}^n \sigma x_j^{2/\sigma} \ln x_j; \quad (33)$$

$$B = e^{\mu/\sigma} \sum_{j=1}^n x_j^{1/\sigma}, \quad \mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma};$$

$C =$

$$= \left\{ \sum_{j=1}^n \left[ (\ln x_j^2) + 2(\sigma - \mu) \ln x_j + \mu(\mu + 2\sigma) \right] \right\}, \quad (34)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma};$

$$Q = \sigma^4 \sum_{j=1}^n (x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma})^2, \quad \mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma}; \quad (35)$$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \mu \partial \sigma} = (-1) \times \frac{n\sigma \sum_{j=1}^n x_j^{2/\sigma} + T + \sigma \cdot e^{2\mu/\sigma} (n-2)}{\sigma^3 \left( \sum_{j=1}^n x_j^{1/\sigma} + e^{\mu/\sigma} \right)^2}, \quad (36)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma};$

$$T = 2e^{\mu/\sigma} \sum_{j=1}^n x_j^{1/\sigma} \cdot \left( \sum_{j=1}^n \ln x_j + n\sigma - \mu - \sigma \right), \quad (37)$$

$\mu = \tilde{\mu}, \sigma = \tilde{\sigma}.$

Тогда верхнюю и нижнюю границу доверительных интервалов для полученных оценок логлогистического распределения можно определить по условию:

$$\mu = \tilde{\mu} \pm K_\alpha \sqrt{\text{Var}(\tilde{\mu})}, \quad \ln \sigma = \ln \tilde{\sigma} \pm \frac{K_\alpha \sqrt{\text{Var}(\tilde{\sigma})}}{\tilde{\sigma}}. \quad (38)$$

Значения коэффициенты  $K_\alpha$  для различных уровней доверительной вероятности  $\alpha$  приведены в табл. 6.

Таблица 6.

Коэффициенты  $K_\alpha$   
для уровня доверительной вероятности  $\alpha$

$\alpha$	0,95	0,975	0,99	0,995	0,999
$K_\alpha$	1,64	1,96	2,32	2,57	3,01

### Выводы

1. Поставлена задача проверки наличия резко выделяющихся данных в выборке из трёх одинаково распределённых случайных величин.

2. В работе рассмотрены следующие распределения: Вейбулла, гамма, нормальное распределение существенно-положительных величин (полунормальное распределение), обратное распределение Гаусса (распределение Вальда), Лапласа, логистическое распределение, Максвелла, нормальное. Все рассмотренные распределения моделировали при одинаковом среднем значении и среднеквадратическом отклонении.

3. Экспериментально, по результатам статистического моделирования, установлено, что независимо от исходных распределений распределение отношения «размах/медиана» для выборок из трёх наблюдений распределено по логлогистическому закону.

4. Приведены способы получения оценок параметров логлогистического распределения по методу моментов и методу максимума правдоподобия, получены выражения для определения величины доверительных интервалов полученных оценок.

5. Определена нижняя граница правосторонней критической области для принятия решения о согласованности результатов вычислений при использовании критерия «размах выборки/медиана выборки».

### Список литературы

1. Скрамтаев Б.Г. Строительные материалы [Текст] / Б.Г. Скрамтаев, Н.А. Герасимов, Г.Г. Мудров. – М.: Стройиздат Наркомтяжстроя, 1940. – 560 с.
2. Строительная индустрия. Справочное руководство по гражданскому и промышленному строительству

ву в семнадцати томах [Текст] / Гл. ред. В.И. Вельман. // Строительные материалы. Часть первая. / Под ред. Н.А. Попова. – Москва – Ленинград. – 1934. – 534 с.

3. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества [Текст] / В.В. Налимов. – М.: ФИЗМАТГИЗ, 1960. – 430 с.

4. Гаскаров Д.В. Малая выборка [Текст] / Д.В. Гаскаров, В.И. Шаповалов. – М.: Статистика, 1978. – 248 с.

5. Расин Дж. Непараметрическая эконометрика: вводный курс [Текст] / Дж. Расин // Квантиль. – 2008. – № 4. – С. 7-76.

6. Садыхов Г.С. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники [Текст] / Г.С. Садыхов, В.П. Савченко, Н.И. Сидняев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 382 с.

7. Мироновский Л.А. Алгоритмы оценивания результатов трёх измерений [Текст] / Л.А. Мироновский. – СПб.: Проффессионал, 2010. – 192 с.

8. Либлейн Ю. Ближайшие друг к другу два из трёх измерений [Текст] / Ю. Либлейн // Введение в теорию порядковых статистик. Ред. А.Я. Боярский. – М.: Статистика, 1970. – С. 122-127.

9. Диксон У. Отбраковка сомнительных наблюдений [Текст] / У.Диксон // Введение в теорию порядковых статистик. Ред. А.Я. Боярский / М.: Статистика, 1970. – С. 274-307.

10. Мироновский Л.А. Оценивание результатов измерений по малым выборкам [Текст] / Л.А. Мироновский, В.А. Слаев // Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 3. – С. 69-78.

11. Джини К. Средние величины [Текст] / К. Джини. – М.: СТАТИСТИКА, 1970. – 443 с.

12. Колмогоров А.Н. Об определении среднего [Текст] / А.Н. Колмогоров // Избранные труды. Математика и механика. – М.: Наука, 1985. – С. 136 – 138.

13. Калинин С.И. Средние величины степенного типа. Неравенства Коши и Ку Фана [Текст] / С.И. Калинин. – Киров: ВГУ, 2002. – 361 с.

14. Дубницкий В.Ю. Решение в явном виде обратной задачи моделирования непрерывной случайной величины [Текст] / В.Ю. Дубницкий, И.Г. Скорокова // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2015. – Вып. 1 (126). – С. 106-110.

15. Хьюбер Дж. Робастность в статистике [Текст] / Дж. Хьюбер. – М.: Мир, 1984. – 304 с.

16. Джонсон Н.Л. Одномерные непрерывные распределения [Текст] / Н.Л. Джонсон, С.Коц, Н. Балакришнан. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010-2012. – 600 с.

17. Life Data Analysis Referenses. The Loglogistic Distribution. P.246- 250 [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.synthesisplatform.net/referenses/Life\\_Data\\_Analysis\\_Reference.pdf](http://www.synthesisplatform.net/referenses/Life_Data_Analysis_Reference.pdf).

18. Кузнецов Д.С. Специальные функции [Текст] / Д. С. Кузнецов. – М.: Высшая школа, 1962. – 246 с.

19. Поршнев С.В. Численные методы на базе Mathcad [Текст] / С.В. Поршнев, И.В. Беленков. – Санкт-Петербург.: БХВ-Петербург, 2005. – 464 с.

20. Кендалл М. Статистические выводы и связи [Текст] / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: НАУКА, 1973. – 900 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2016

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Новожилова, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

## ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЙ НЕАНАЛІТИЧНИХ СЕРЕДНІХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОЦІНКИ УЗГОДЖЕНОСТІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

В.Ю. Дубницький, О.І. Ходирєв

Сформульовано задачу перевірки наявності даних, що різко виділяються у вибірці з трьох однаково розподілених випадкових величин. У роботі розглянуто наступні розподіли: Вейбула, гамма, нормальний розподіл суттєво-додатних величин (напівнормальний розподіл), зворотний розподіл Гауса (розподіл Вальда), Лапласа, логістичний розподіл, Максвелла, нормальний. За результатами статистичного моделювання встановлено, що незалежно від початкових розподілів розподіл відношення «розмах / медіана» для вибірок з трьох спостережень розподілений за логлогістичним законом. Наведено способи визначення оцінок параметрів логлогістичного розподілу за методом моментів і методом максимуму правдоподібності, отримано вирази для визначення величин довірчих інтервалів отриманих оцінок. Визначено нижню межу правосторонньої критичної області для прийняття рішення про узгодженість результатів обчислень при використанні критерію «розмах вибірки / медіана вибірки».

**Ключові слова:** розмах вибірки, медіана, розподіл Вейбулла, гамма-розподіл, нормальний розподіл суттєво-додатних величин (напівнормальний розподіл), зворотне розподіл Гауса (розподіл Вальда), розподіл Лапласа, логістичне розподіл, розподіл Максвелла, нормальний розподіл, логарифмічно логістичний розподіл, метод моментів, метод максимуму правдоподібності, оцінка параметрів логарифмічно логістичного розподілу.

## APPLICATION OF NON-ANALYTICAL MEAN VALUE FUNCTIONS FOR CONSISTENCY EVALUATION OF COMPUTATION PROCESSES

V.Yu. Dubnitskiy, A.I. Khodyrev

A problem was formulated of checking availability of data that sharply stand out in a sample among three identically distributed random values. The work dwells on such distributions: Weibull, gamma, normal distribution of substantially positive values (half-normal distribution), inverse Gauss distribution (Wald distribution), Laplace distribution, logistic distribution, Maxwell distribution, normal distribution. The results of statistical modeling showed that irrespective of initial distributions, the distribution of span/median ratio for samples from three observations always followed loglogistic law. Several techniques specified for evaluation of loglogistic parameters using method of moments and method of maximum likelihood, expressions found for determination of confidence interval values for obtained evaluations. Bottom limit was obtained of right-hand critical region for making decision on consistency of calculation results, using sample span/median criterion.

**Keywords:** sweep sample, the median, the Weibull distribution, the gamma distribution, the normal distribution significantly positive values (seminormal distribution), the inverse Gaussian distribution (distribution-division Wald), Laplace distribution, logistic distribution, Maxwell distribution, the normal distribution, log-logistic distribution, method of moments, maximum likelihood method, parameter estimation log-logistic distribution.

УДК 519.85

Ю.Е. Стоян, Т.Е. Романова, А.В. Панкратов

*Институт проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ МНОГОГРАННИКОВ В ВЫПУКЛОЙ МНОГОГРАННОЙ ОБЛАСТИ

*Рассматривается задача компоновки заданного набора произвольных многогранников, допускающих непрерывные вращения, в прямоугольный параллелепипед минимального объема. Учитываются ограничения на минимально допустимые расстояния. Строится математическая модель в виде задачи нелинейного программирования с использованием псевдонормализованных квази- $\phi$ -функций и  $\phi$ -функций.*

**Ключевые слова:** упаковка, многогранники, непрерывные вращения, минимально допустимые расстояния, прямоугольный контейнер, математическое моделирование.

### Введение

Рассматривается класс оптимизационных задач размещения [1], которые имеют широкий спектр применения, например, в машиностроении, судостроении, авиастроении, строительстве, а также в задачах современной биологии, логистике, минералогии, медицине, материаловедении, нанотехнологиях, робототехнике, системах распознавания образов.

Задача оптимальной упаковки многогранников является NP-сложной [2], и, как следствие, методологии решения обычно используют эвристики, например, [3 – 6]. Некоторые исследователи предлагают подходы, основанные на математическом моделировании и оптимизационных процедурах; например, [7 – 9].

В данной работе рассматривается задача упаковки заданного набора произвольных и, в общем случае, невыпуклых многогранников, допускающих непрерывные вращения, в выпуклом многограннике (контейнер) минимального размера (с минимальным коэффициентом гомотетии) с учетом минимально допустимых расстояний. Осуществляется математическое моделирование отношений между геометрическими объектами с помощью метода  $\phi$ -функций (см. например, [10]), что позволяет сформулировать задачу упаковки в виде задачи нелинейного программирования. К настоящему моменту определены  $\phi$ -функции для таких объектов как параллелепипеды, выпуклые многогранники, шары [11]. Некоторые из  $\phi$ -функций (в частности, для многогранников) – достаточно сложны, что затрудняет использование NLP-солверов для поиска локальных экстремумов.

В этой связи с целью аналитического описания ограничений на минимально допустимые расстояния между невыпуклыми многогранниками, допускающими непрерывные повороты и трансляции, в данном исследовании используется класс псевдо-

нормализованных квази- $\phi$ -функций [12]. Квази- $\phi$ -функции существенно проще, чем  $\phi$ -функции для многогранников, однако за это приходится “платить” путем включения дополнительных переменных. Свободные от радикалов псевдонормализованные квази- $\phi$ -функции позволяют представить задачу оптимальной упаковки многогранников в виде задачи нелинейного программирования, в которой область допустимых решений описывается одной системой неравенств с гладкими функциями, что позволяет применить для ее решения современные NLP-солверы.

### Постановка задачи

Рассмотрим задачу упаковки многогранников в следующей постановке. Имеется выпуклый ограниченный многогранный контейнер  $\Omega$  и набор многогранников  $\mathbb{Q}_q$ ,  $q \in \{1, 2, \dots, N\} = J_N$ . С каждым многогранником  $\mathbb{Q}_q$  ассоциируется его собственная система координат, начало которой  $v_q$  называется полюсом. Не теряя общности, полагаем, что  $v_q$  совпадает с центром описанной вокруг  $\mathbb{Q}_q$  сферы  $S_q$  радиуса  $r_q$ .

Положение и ориентация многогранника  $\mathbb{Q}$  определяется вектором его переменных параметров размещения  $(v, \theta)$ , где  $v = (x, y, z)$  – вектор трансляции,  $\theta = (\theta^1, \theta^2, \theta^3)$  – вектор углов поворота. Транслированный на вектор  $v$  и повернутый на углы  $\theta^1, \theta^2, \theta^3$ , многогранник  $\mathbb{Q}$  обозначается как

$$\mathbb{Q}(u) = \{p \in \mathbb{R}^3 : p = v + M(\theta) \cdot p^0, \forall p^0 \in \mathbb{Q}^0\},$$

где  $\mathbb{Q}^0$  – исходный многогранник,  $M(\theta)$  – матрица поворота.

Между каждой парой многогранников  $\mathbb{Q}_q$  и  $\mathbb{Q}_g$ ,  $q < g \in J_N$ , так же, как и между многогранни-

ком  $\mathbb{Q}_q$ ,  $q \in I_N$ , и границей области  $\Omega$  заданы минимально допустимые расстояния  $\rho_{qg} > 0$ ,  $q < g \in I_N$ , и  $\rho_q > 0$ ,  $q \in I_N$ , соответственно.

Полагаем, что

$$\text{dist}(\mathbb{Q}_q, \mathbb{Q}_g) = \min_{a \in \mathbb{Q}_q, b \in \mathbb{Q}_g} d(a, b) \geq \rho_{qg},$$

$$\text{dist}(\mathbb{Q}_q, \Omega^*) = \min_{a \in \mathbb{Q}_q, b \in \Omega^*} d(a, b) \geq \rho_q,$$

где  $d(a, b)$  – евклидово расстояние между  $a, b \in \mathbb{R}^3$ ,  $\Omega^* = \mathbb{R}^3 \setminus \text{int } \Omega$ .

Задача оптимальной компоновки многогранников в многограннике (в дальнейшем ОРПП) может быть сформулирована следующим образом.

Упаковать набор многогранников  $\mathbb{Q}_q$ ,  $q \in I_N$ , внутри многогранного контейнера  $\Omega$  минимального размера (с минимальным коэффициентом гомотетии  $F = \lambda$ ), учитывая заданные минимально допустимые расстояния.

### Моделирование ограничений размещения

Для описания ограничений непересечения и включения используются phi-функции и квази-phi-функции, а для формализации ограничений на допустимые расстояния – псевдонормализованные phi-функции и псевдонормализованные квази-phi-функции.

Квази-phi-функция для двух невыпуклых многогранников формируется из квази-phi-функций для всех пар выпуклых многогранников, которые образуют исходные невыпуклые многогранники. Если два выпуклых многогранника не пересекаются, то всегда существует разделяющая плоскость, которая делит 3D-пространство на два полупространства. В свою очередь, каждая квази-phi-функция для двух выпуклых многогранников использует phi-функции для выпуклого многогранника и полупространства. Phi-функция для выпуклого многогранника и полупространства очень проста, а, следовательно, квази-phi-функция двух выпуклых многогранников значительно проще, чем обычная phi-функция для двух выпуклых многогранников. Тем не менее, использование дополнительных разделяющих плоскостей для всех пар выпуклых многогранников увеличивает число переменных в математической модели.

Пусть

$$\mathbb{Q}_q(u_q) = \bigcup_{i=1}^{n_q} K_i(u_q)$$

и

$$\mathbb{Q}_g(u_g) = \bigcup_{j=1}^{n_g} K_j(u_g) -$$

невыпуклые многогранники.

Каждый выпуклый многогранник  $K_i \subset \mathbb{Q}_q$  (пример – на рис. 1) задается своими вершинами  $p_s^i$ ,  $s = 1, \dots, m_i$ ,  $i \in I_n$ , в собственной системе координат  $\mathbb{Q}_q$ .

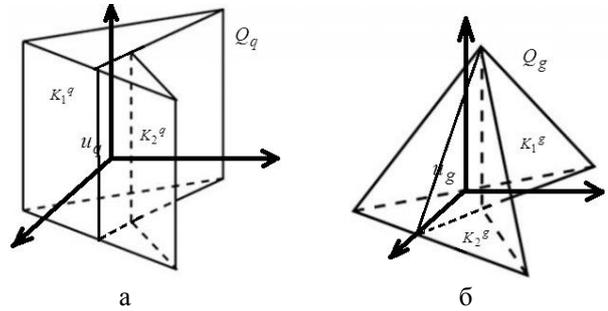


Рис. 1. Декомпозиция невыпуклых многогранников  $\mathbb{Q}_q$  и  $\mathbb{Q}_g$  на выпуклые многогранники:

$$a - \mathbb{Q}_q = K_{q1} \cup K_{q2}, \quad б - \mathbb{Q}_g = K_{g1} \cup K_{g2}$$

Обозначим минимально допустимое расстояние между каждой парой выпуклых многогранников  $K_i \subset \mathbb{Q}_q$  и  $K_j \subset \mathbb{Q}_g$ ,  $q < g \in I_N$ , через  $\rho_{qg}$ , а между каждым многогранником  $K_i \subset \mathbb{Q}_q$ ,  $q \in I_N$ , и границей области  $\Omega$  – через  $\rho_q$ .

Полагая, что каждый невыпуклый многогранник  $\mathbb{Q}_q$  может быть представлен в виде объединения  $n_q$  выпуклых многогранников, определим набор

$$n = \sum_{q=1}^N n_q$$

выпуклых многогранников  $K_i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, n\} = I_n$  и так называемый “склеивающий” вектор  $\mathbf{a} = (a_1, \dots, a_n)$ ,  $a_i \in J_N$ , где  $a_i = q$ , если  $K_i$  принадлежит многограннику  $\mathbb{Q}_q$ ,  $q \in I_N$ .

Псевдонормализованная квази-phi-функция для пары невыпуклых многогранников  $\mathbb{Q}_q(u_q)$  и  $\mathbb{Q}_g(u_g)$  может быть определена в виде

$$\begin{aligned} \hat{\Phi}'_{qg}(u_q, u_g, u_{qg}) = \\ = \min \left\{ \hat{\Phi}'^{K_i K_j}(u_q, u_g, u'_{ij}), i = 1, \dots, n_q, j = 1, \dots, n_g \right\}, \end{aligned}$$

где  $\hat{\Phi}'_{qg}(u_q, u_g, u'_{ij})$  – псевдонормализованная квази-phi-функция для выпуклых многогранников  $K_i(u_q)$  и  $K_j(u_g)$ ,  $u'_{ij}$  – вектор дополнительных переменных,  $i = 1, \dots, n_q$ ,  $j = 1, \dots, n_g$ ,

$$u_{qg} = (u'_{ij}, i = 1, \dots, n_q, j = 1, \dots, n_g).$$

Псевдонормализованная  $\phi$ -функция для невыпуклого многогранника  $Q_q(u_g)$  и объекта  $\Omega^*$  может быть определена так:

$$\hat{\Phi}_q(u_q) = \min\{\hat{\Phi}^{K_i}(u_q), i = 1, \dots, n_q\},$$

где  $\hat{\Phi}^{K_i}(u_q)$  –  $\phi$ -функция для выпуклого многогранника  $K_i(u_q)$  и объекта  $\Omega^*$ ,  $i = 1, \dots, n_q$ .

Далее приводится конкретный вид псевдонормализованной квази- $\phi$ -функции для пары выпуклых многогранников, а также псевдонормализованной  $\phi$ -функции для выпуклого многогранника и объекта  $\Omega^*$ .

Пусть задано минимально допустимое расстояние  $\rho_{12}$  между двумя выпуклыми многогранниками  $K_1(u_1)$  и  $K_2(u_2)$ . Для описания ограничения  $\text{dist}(K_1, K_2) \geq \rho_{12}$ , используется псевдонормализованная квази- $\phi$ -функция для выпуклых многогранников  $K_1(u_1)$  и  $K_2(u_2)$ :

$$\hat{\Phi}^{K_1 K_2}(u_1, u_2, u_p) = \Phi^{K_1 K_2}(u_1, u_2, u_p) - 0.5\rho_{12}, \quad (1)$$

где  $\Phi^{K_1 K_2}(u_1, u_2, u_p)$  – псевдонормализованная квази- $\phi$ -функция для выпуклых многогранников  $K_1(u_1)$  и  $K_2(u_2)$ , заданных вершинами  $p_i^1$ ,  $i = 1, \dots, m_1$ , и  $p_j^2$ ,  $j = 1, \dots, m_2$ , вида

$$\Phi^{K_1 K_2}(u_1, u_2, u_p) = \min\left\{\Phi^{K_1 P}(u_1, u_p), \Phi^{K_2 P^*}(u_2, u_p)\right\};$$

$\Phi^{K_1 P}(u_1, u_p)$  –  $\phi$ -функция для  $K_1(u_1)$  и полупространства  $P(u_p)$ ,  $\Phi^{K_2 P^*}(u_2, u_p)$  –  $\phi$ -функция для  $K_2(u_2)$  и полупространства  $P^*(u_p) = R^3 \setminus \text{int } P(u_p)$ .

Здесь

$$P(u_p) = \{(x, y, z) : \psi_p = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma \cdot z + \mu_p \leq 0\} -$$

полупространство,

$$\alpha = \sin \theta_{yp}, \quad \beta = -\sin \theta_{xp} \cdot \cos \theta_{yp},$$

$$\gamma = \cos \theta_{xp} \cdot \cos \theta_{yp} \quad \text{и} \quad u_p = (\theta_{xp}, \theta_{yp}, \mu_p),$$

$\theta_{xp}$  и  $\theta_{yp}$  – соответствующие переменные углы поворота полупространства  $P(u_p)$  от оси  $OY$  до  $OZ$  и от оси  $OX$  до  $OZ$ . В формуле (4):

$$\Phi^{K_1 P}(u_1, u_p) = \min_{1 \leq i \leq m_1} \psi_p(p_i^1);$$

$$\Phi^{K_2 P^*}(u_2, u_p) = \min_{1 \leq j \leq m_2} (-\psi_p(p_j^2)).$$

Таким образом,

$$\max_{u \in U} \hat{\Phi}^{K_1 K_2} \geq 0 \Leftrightarrow \text{dist}(K_1, K_2) \geq \rho_{12}.$$

Пусть задано минимально допустимое расстояние  $\rho_1$  между выпуклым многогранником  $K(u_1)$  и объектом  $\Omega^*$ . Для описания ограничения  $\text{dist}(K, \Omega^*) \geq \rho_1$  используется псевдонормализованная  $\phi$ -функция для выпуклого многогранника  $K(u_1)$  и объекта  $\Omega^*$  вида

$$\hat{\Phi}^{K \Omega^*}(u_1) = \Phi^{K \Omega^*}(u_1) - \rho_1. \quad (2)$$

где

$$\Phi^{K \Omega^*}(u_1) = \min\left\{\min_{1 \leq i \leq m_K} \varphi_j(p_i), j = 1, \dots, m_\Omega\right\},$$

$\varphi_j(x, y, z) = 0$  – уравнение плоскости, проходящей через  $j$ -ую грань выпуклого многогранника  $\Omega$ , при этом  $\varphi_j(p_i) > 0$ , если вершина  $p_i$  многогранника  $K(u_1)$  является внутренней точкой области  $\Omega$ ;  $\Phi^{K \Omega^*}$  – псевдонормализованная  $\phi$ -функция для многогранника  $K(u_1)$  и объекта  $\Omega^*$  [10].

### Математическая модель

Вектор  $u \in R^\sigma$  переменных задачи может быть описан следующим образом:

$$u = (\zeta, \tau),$$

где  $y = 1 + 6N + 3m$ ,  $\zeta = (\lambda, u_1, u_2, \dots, u_N)$ ,  $\lambda$  – переменный коэффициент гомотетии контейнера  $\Omega$  и  $u_{a_i} = (v_{a_i}, \theta_{a_i}) = (x_{a_i}, y_{a_i}, z_{a_i}, \theta_{a_i}^1, \theta_{a_i}^2, \theta_{a_i}^3)$  – вектор параметров размещения выпуклого многогранника  $K_i$ ,  $i \in I_n$ ,  $a_i \in \{1, 2, \dots, N\}$  – компоненты вектора "склейки"  $\mathbf{a}$ ,  $\tau = (u_p^1, \dots, u_p^m)$ ,  $u_p^s = (\theta_{x_p}^s, \theta_{y_p}^s, \mu_p^s)$  – вектор дополнительных переменных для  $s$ -й пары выпуклых многогранников, определенных в (1),  $s = 1, \dots, m$ ,  $m = \text{card}(\Xi)$ ,

$$\Xi = \{(i, j), a_i \neq a_j, i < j = 1, \dots, n\}. \quad (3)$$

Математическая модель задачи ОРР может быть сформулирована в виде

$$\min_{u \in W \subset R^y} F(u), \quad (4)$$

$$W = \left\{ \begin{array}{l} u \in R^y : \hat{\Phi}'_{ij}(u_{a_i}, u_{a_j}) \geq 0, \\ (i, j) \in \Xi, \hat{\Phi}'_i(u_{a_i}) \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\}, \quad (5)$$

где  $F(u) = \lambda$ ;  $\hat{\Phi}'_{ij}$  – псевдонормализованная квази- $\phi$ -функция вида (1) при  $a_i, a_j \in I_n$ , учитывающая минимально допустимое расстояние  $\rho_{ij} > 0$ ,  $\Xi$  оп-

ределено в (3);  $\hat{\Phi}_i$  – псевдонормализованная  $\phi$ -функция вида (2) для выпуклого многогранника  $K_i$  и объекта  $\Omega^*$ , учитывающая минимально допустимое расстояние  $\rho_i > 0$ .

Следует отметить, что для того, чтобы избежать избыточных неравенств в ограничениях включения, вместо набора псевдонормализованных квази- $\phi$ -функций  $\hat{\Phi}_i(u_{a_i}) \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, n$ , для выпуклых многогранников  $K_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , можно использовать набор псевдонормализованных квази- $\phi$ -функций  $\hat{\Phi}_q(u_q) \geq 0$ ,  $q = 1, \dots, N$ , для выпуклых оболочек невыпуклых многогранников  $Q_q$ ,  $q = 1, \dots, N$ .

Каждое  $\phi$ -неравенство в (5) может быть описано системой неравенств с гладкими функциями. Математическая модель (4)-(5) является непрерывной задачей нелинейного программирования и содержит все глобально оптимальные решения. Для решения задачи можно использовать современные глобальные NLP-солверы (например, Baron) и получить оптимальное решение задачи (4)-(5). Однако на практике мы имеем дело с большим числом переменных и огромным числом неравенств, в результате чего поиск даже локально оптимального решения становится нереальной задачей. Для поиска «хороших» локально оптимальных решений за разумное время может быть использована модификация алгоритма, предложенного в работе [12] для задачи оптимальной упаковки эллипсов в прямоугольном контейнере минимальной площади.

## Выводы

В данном исследовании построена математическая модель оптимальной упаковки произвольных многогранников, допускающих непрерывные трансляции и повороты, в виде задачи нелинейного программирования, используя псевдонормализованные квази- $\phi$ -функции и  $\phi$ -функции.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ БАГАТОГРАННИКІВ У ОПУКЛІЙ БАГАТОГРАННІЙ ОБЛАСТІ

Ю.Є. Стоян, Т.Є. Романова, О.В. Панкратов

Розглядається задача упаковки заданого набору багатогранників, що допускають безперервні обертання, у опуклому багатогранному контейнері. Враховуються обмеження на мінімально допустимі відстані. Будується математична модель у вигляді задачі нелінійного програмування з використанням псевдонормалізованих квазі- $\phi$ -функцій та  $\phi$ -функцій.

**Ключевые слова:** упаковка, багатогранники, безперервні обертання, допустимі відстані, математичне моделювання.

## MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMAL LAYOUT PROBLEM OF POLYHEDRONS INTO A CONVEX POLYHEDRAL REGION

Yu.E. Stoyan, T.E. Romanova, A.V. Pankratov

We study the problem of arrangement a given collection of polyhedrons into a polytope of minimal sizes taking into account minimal allowable distances. Continuous rotations and translations of polyhedrons are allowed. We provide a mathematical model of the problem as a nonlinear programming problem, using  $\phi$ -function technique.

**Keywords:** arrangement, polyhedrons, continuous rotations, polyhedral container, mathematical model.

Область допустимых решений описывается системой неравенств с гладкими функциями.

## Список литературы

1. Wascher, G., Hauner, H., Schumann, H.: An improved typology of cutting and packing problems. *Eur. J. Oper. Res.* **183**(3,16), 1109–1130 (2007).
2. Chazelle, B., Edelsbrunner, H., Guibas, L.J.: The complexity of cutting complexes. *Discr. & Comput. Geom.* **4**(2), 139–81 (1989).
3. Egeblad, J., Nielsen, B.K., Odgaard, A.: Fast neighborhood search for two- and three-dimensional nesting problems. *Eur. J. Oper. Res.* **183**(3), 1249–1266 (2007).
4. Fasano, G.: MIP-based heuristic for non-standard 3D-packing problems. *4OR: Quart. J. Belgian, French and Italian Oper. Res. Soc.* **6**(3), 291–310 (2008).
5. Korte, A.C.J., Brouwers H.J.H.: Random packing of digitized particles. *Powder Techn.* **233**, 319–324 (2013).
6. Egeblad, J., Nielsen, B.K., Brazil, M.: Translational packing of arbitrary polytopes. *Comp. Geom.* **42**(4), 269–288 (2009).
7. Fasano, G. A.: Global Optimization point of view for non-standard packing problems. *J. Glob. Optim.* **55**(2), 279–299 (2013).
8. Torquato, S., Jiao, Y.: Dense polyhedral packings: Platonic and Archimedean solids. *Phys. Rev.* **80**, 041104, (2009).
9. Xiao Liu, Jia-min Liu, An-xi Cao, Zhuang-le Yao, 2015. HAPE3D – a new constructive algorithm for the 3D irregular packing problem. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering.* **16**(5), 380–390.
10. Chernov, N., Stoyan, Y., Romanova, T.: Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. *Comput. Geom.: Theory and Appl.* **43**(5): 535–553 (2010).
11. Stoyan, Y., Chugay, A.: Mathematical modeling of the interaction of non-oriented convex polytopes. *Cyber. and Syst. Anal.* **48** (6), 837–845 (2012).
12. Chernov, N., Stoyan, Y., Pankratov, A., Romanova, T.: Quasi- $\phi$ -functions and optimal packing of ellipses. *Subm. to J. of Glob. Optim.* (2014).

Поступила в редакцию 7.04.2016

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. С.В. Смеляков, Харьковский национальный университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

# Інформаційні технології

УДК 004.023:004.421.2

В.В. Берковський, Н.І. Солодовнікова

*Харківський національний університет Повітряних Сил Імені Івана Кожедуба*

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВИХ СИСТЕМ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В УКРАЇНІ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ПРИБУТКОВОСТІ МАЛОГО БІЗНЕСУ

*Стаття присвячена питанням та проблемам впровадження інформаційних технологій в малому бізнесі, а також розкрито сутність сучасних інформаційних розрахункових систем малих підприємств, наданий їх аналіз та класифікація.*

**Ключові слова:** *автоматизована інформаційна система, інформаційно-розрахункова система, інформаційна технологія, бухгалтерська інформаційна система, бухгалтерська програма.*

### Вступ

Досвід країн з розвинутою ринковою економікою, а також деяких східноєвропейських країн з перехідною економікою показує, що саме розвиток малого підприємництва сприяє поступальному соціально-економічному розвитку країни. При цьому малий бізнес проявляє риси, притаманні ринковій економіці. Він являє собою особливий сектор, динамічно реагує на ринкову кон'юнктуру, що активізує структурну перебудову галузей, а це допомагає подолати монополізм в економіці країни і здатний вирішувати різні соціальні та регіональні завдання [1]. Таким чином, для економіки країни ключовим питанням є підвищення ефективності малого бізнесу, в першу чергу за допомогою впровадження новітніх інформаційних технологій (ІТ).

Розвиток інформаційних технологій має істотний вплив на усі сфери людської діяльності, які пов'язані з накопиченням та переробкою інформації. Особливо це стосується економічних об'єктів: виробничих підприємств, торгівлі, фінансових та банківських організацій, інвестиційних компаній, державних організацій та підприємств. Але незважаючи на те, що користь від інформаційних технологій для економіки є безперечною, досі існує багато проблем з автоматизацією діяльності підприємств малого бізнесу України та їх облікових підрозділів. Так, майже 40% таких підприємств веде неавтоматизований бухгалтерський облік взагалі, або автоматизовані тільки окремі його ділянки [2].

Витрати на дотримання вимог податкового законодавства: ведення податкового обліку, підготовка податкових документів, звітності, аналіз податкового законодавства та сплата податків - залежать від розміру підприємства (чим більше підприємство,

тим більші витрати), однак малі підприємства мають найбільші витрати, якщо порівняти ці витрати з прибутком підприємств. За даними досліджень Всесвітнього банку та Міжнародної фінансової корпорації (ІFC) «Вартість дотримання податкового законодавства в Україні» ці витрати досягають 8% річного доходу [7], в порівнянні з великими підприємствами, які витрачають лише 0,03% доходів. Це не сприяє залученню інвестицій, не стимулює підприємницьку ініціативу та є перешкодою для створення нових малих підприємств.

Проблема створення і впровадження інформаційних систем на підприємстві залишається однією з найскладніших в Україні. Таким чином, висока практична значущість і недостатня впровадженість інформаційного забезпечення для малого бізнесу в країні обумовлює актуальність досліджень в даній області, яка викликає великий науковий і практичний інтерес. Також актуальною є наукова проблема розробки методологічних основ, методів і методик проектування, організації функціонування і розвитку автоматизованих інформаційних систем (АІС) з метою підтримки малого бізнесу.

### Концепція автоматизованих інформаційних систем

В якості основної класифікаційної ознаки АІС доцільно розглядати особливості професійної діяльності, що автоматизується - процесу переробки вхідної інформації для отримання необхідної вихідної інформації, в якому АІС виступає в якості інструменту посадової особи або групи посадових осіб, які беруть участь в управлінні організаційною системою [1].

Відповідно до запропонованої класифікаційної ознаки можна виділити такі класи АІС (рис. 1):

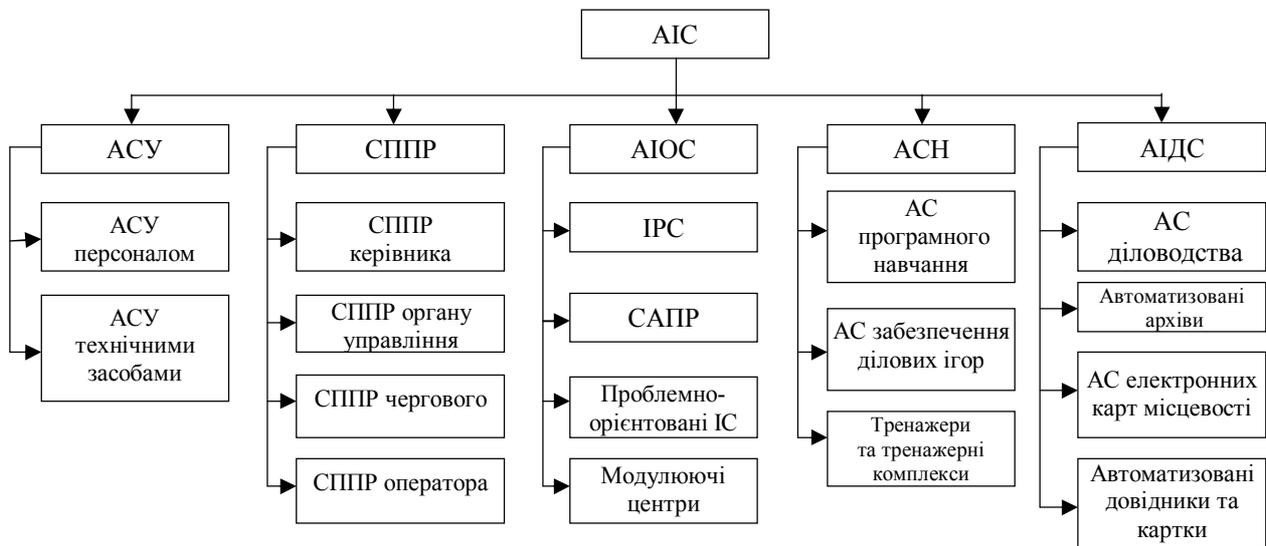


Рис. 1. Класи АІС

- автоматизовані системи управління (АСУ);
- системи підтримки прийняття рішення (СППР);
- автоматизовані інформаційно-обчислювальні системи (АІОС);
- автоматизовані системи навчання (АСН);
- автоматизовані інформаційно-довідкові системи (АІДС).

У даній статті основна увага приділяється інформаційно-розрахунковим системам (ІРС). Ці системи призначені для забезпечення оперативних розрахунків і автоматизації обміну інформацією між робочими місцями в межах певної організації або системи організацій. ІРС зазвичай сполучаються з АСУ і в рамках останньої можуть розглядатися як підсистема.

Більш детально взаємозв'язок організації, її АІС та ІТ зображений на рис. 2.

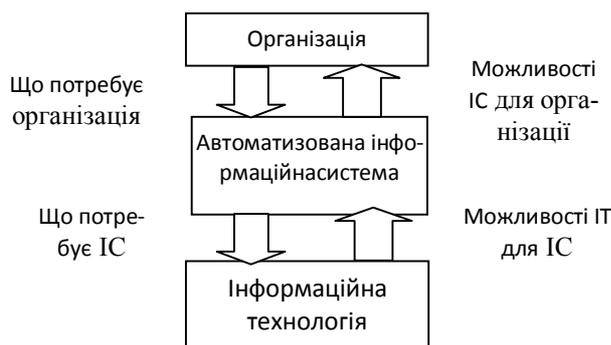


Рис. 2. Взаємозв'язок організації, інформаційної системи та інформаційної технології

Організація (органи управління) пред'являє свої вимоги до ІС. ІС в свою чергу визначає набір вимог до застосування ІТ, характеристика яких також формує обмеження ІС. Інформаційні технології, розвиваючись, створюють нові можливості для ІС, а ті, в свою чергу, породжують нові можливості для розвитку організації.

ІТ-інфраструктура визначає правила формування своїх компонентів і забезпечення взаємодії між ними. Для автоматизованих ІС вона складається з трьох підсистем (рис. 3): інфраструктура даних, технічна інфраструктура та програмна інфраструктура [8].

Розробка АІС містить такі етапи:

- розробка та аналіз бізнес – моделі;
- формалізація бізнес – моделі, розробка логічної моделі бізнес – процесів;
- вибір лінгвістичного забезпечення, розробка програмного забезпечення АІС.
- тестування та налаштування АІС;
- експлуатація та контроль версій;
- інфраструктура даних (бази даних, сховища даних, СУБД, регламентуючі документи і т. н.) забезпечує зберігання і використання даних, які відображають поточне функціонування організації, і документів, що відображають роботу організації в тимчасових аспектах. Технічна інфраструктура (апаратні засоби обчислювальної техніки, обчислювальні мережі, канали зв'язку, комунікаційні пристрої, регламентуючі документи тощо) забезпечує роботу комунікаційних і обчислювальних ресурсів організації;

– програмна інфраструктура в частині системного програмного забезпечення (утиліти і програми, інтерфейси взаємодії прикладних систем між собою та зовнішніми системами, операційні системи, методи і засоби розробки додатків тощо) з'єднує в єдину систему обчислювальні, комунікаційні і програмні ресурси, в частині прикладного програмного забезпечення (програми і прикладні системи для користувачів) - надає користувачам на їх робочих місцях додатки для виконання бізнес-функцій, бізнес-процесів і бізнес-проектів [1].

Загальними вимогами до АІС[8] є:

1. Гнучкість. Здатність до адаптації та подальшого розвитку.

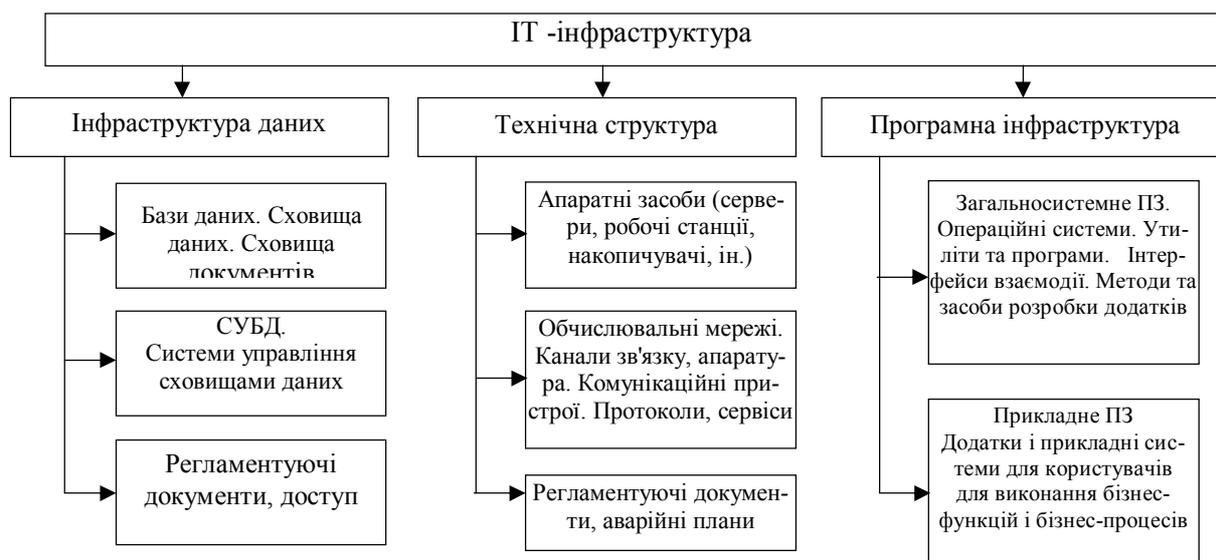


Рис. 3. Компоненти IT-інфраструктури

2. Надійність. Потреба в надійності забезпечується створенням резервних копій для збереження інформації, виконання операцій протоколювання, підтриманням якості каналів зв'язку та фізичних носіїв інформації, використання сучасних програмних та апаратних засобів.

3. Ефективність. Система є ефективною, якщо за умови використання виділених ресурсів вона дозволяє вирішувати покладені на неї завдання в мінімальні строки. Ефективність системи забезпечується оптимізацією даних та методів їх обробки, застосуванням оригінальних розробок, ідей, методів проектування.

4. Безпека. Під безпекою, перед усім, мається на увазі властивість системи, завдяки якій сторонні особи не мають доступу до інформаційних джерел організації, крім тих, які для них передбачені. Потреба в безпеці забезпечується сучасними засобами розробки інформаційних систем, сучасною апаратурою, методами захисту інформації, застосуванням паролів та протоколюванням, постійним моніторингом стану безпеки операційних систем та засобів їх захисту.

Найбільш поширені на підприємствах країни автоматизовані інформаційно-розрахункові системи, які створені для забезпечення оперативних розрахунків та автоматизації обміну інформації між робочими місцями в межах однієї організації або системи організацій. Іншими словами, інформаційно-розрахункова система (програмно-технічний комплекс) – це сукупність даних (баз даних) і програм, які функціонують на обчислювальних засобах як єдине ціле для вирішення визначених завдань.

Тому однією з найбільш поширених проблем є вибір програмного забезпечення, яке б якнайповніше розкривало інформацію, сформовану за даними бухгалтерського обліку. У сучасних ринкових умовах господарювання на внутрішньому ринку Украї-

ни пропонується значна кількість бухгалтерських програм.

### Коротка характеристика основних бухгалтерських програм

У системах автоматизації обліку малих підприємств залежності від їх типу і розмірів реалізується фінансовий, податковий і частково-управлінський облік. Головним обліковим регістром таких систем є Журнал господарських операцій. Малим підприємствам в даний час надана можливість вибору одного з режимів ведення бухгалтерського обліку. Вони можуть застосовувати:

- загальноприйнятий (стандартний) облік із застосуванням загального режиму оподаткування;

- облік за спрощеною системою оподаткування (ССО). Цей облік передбачений у податковій системі України для зниження податкового навантаження та стимулювання малого підприємництва. Для переходу на спеціальний податковий режим законодавством України обумовлені обмеження відносно видів діяльності, чисельності найманих працівників та доходів суб'єктів малого бізнесу.

Ця ситуація знайшла відображення в складі і структурі бухгалтерських інформаційних систем. В основу бухгалтерських інформаційних систем (БІС), налаштованих на облік із застосуванням загального режиму оподаткування, закладені функціональні компоненти, які в комплексі виконують розрахунки, заповнення й обробку первинних документів, накопичення підсумкових результатів і формування звітних форм [9].

На даному етапі для суб'єктів малого бізнесу розроблені БІС, у структуру яких включені бухгалтерські комплекси за двома видами бухгалтерського обліку (ССО і загальноприйнятому), за різними видами податків та зборів. Ці комплекси мають гнучку систему налаштування на різні режими опо-

даткування. При необхідності вони надають можливість переходу з однієї системи на іншу, наприклад, зі спрощеної системи на загальну і назад із збереженням даних обліку. Це програми "Турбо Бухгалтер: Малий бізнес", "БЕСТ-офіс: Система управління малим підприємством", "Інфо-Бухгалтер", "ВС: Підприємство" та ін.

Крім цих БІС розроблені програми, які налаштовані на бухгалтерський облік для індивідуальних підприємців за спрощеною системою оподаткування ("Інфо-Бухгалтер: Інфо-Підприємець", "Інфо-Бухгалтер: Спрощена система оподаткування", "ІС: Спрощена система оподаткування", система "Турбо Бухгалтер 6.7. Малий бізнес" та ін). У цих програмах висвітлено особливості ведення бухгалтерського обліку з формуванням Книги обліку доходів і витрат та Декларації з єдиного податку [9].

### Програмні продукти для малих підприємств

Нижче наведені можливості деяких програмних продуктів для малих підприємств, які доступні на українському ринку.

**Програма "ПС: ПІДПРИЄМСТВО".** Компанія "ВС" ("Вищий сорт") - ініціатор і координатор програми допомоги малому бізнесу "Від малого до великого" - пропонує програму "ВС: Підприємство 7" і програму "ВС: Бухгалтерія 7.0". У функціональні можливості програми "ВС: Підприємство 7.0" входять наступні операції з бухгалтерського обліку [4]:

- загальний режим оподаткування та спеціалізовані податкові режими (за всіма групами);
- облік основних засобів і нематеріальних активів, товарно-матеріальних запасів і послуг, касових операцій та операцій по розрахунковому рахунку;
- облік операцій в оптовій і роздрібній торгівлі;
- облік розрахунків з контрагентами та підзвітними особами;
- формування книги продажів, книги покупок, стандартної бухгалтерської і податкової звітності;
- використання сервісної можливості "Клієнт-Банк".

Програма "ПС: Підприємство 7.0" дозволяє ефективно управляти підприємством - вести управлінський, бухгалтерський та кадровий облік, розраховувати заробітну плату, управляти торговельною діяльністю і складом, планувати бюджет підприємства та основні напрямки фінансово-господарської діяльності, контролювати всі основні бізнес-процеси за допомогою однієї програми.

**Програма "БЕСТ-Офіс"** являє собою систему управління малим підприємством, розроблену компанією "Інтелект-Сервіс". Програма дає можливість гнучкого налаштування ведення бухгалтерського і податкового обліку за всіма передбаченими для

підприємств малого бізнесу системами оподаткування [10].

При веденні обліку по спрощеній системі оподаткування на підставі первинних документів оперативного обліку програма виконує:

- реєстрацію господарських операцій з формуванням Книги обліку доходів і витрат;
- розрахунок податкової бази для обчислення єдиного податку та заповнення податкової декларації за алгоритмом вибраної установки;
- облік основних засобів та розрахунок їх амортизації;
- автоматичний розрахунок страхових внесків та заповнення звітних форм за ним.

**Програмний комплекс "Турбо Бухгалтер 6.7. Малий бізнес"** розроблений для підприємств малого бізнесу і технологічно складається з двох частин: власне програми "Турбо Бухгалтер 6.7" та додатка до неї "Малий бізнес" [8].

У програмі "Турбо Бухгалтер" передбачена можливість ведення обліку одним з двох способів: загальним або за спрощеною системою оподаткування. Передбачена можливість ведення обліку як приватними підприємцями, так і організаціями, що застосовують загальний режим оподаткування усіма дозволеними законом методами.

Програмний комплекс "Турбо Бухгалтер 6.7. Малий бізнес" реалізує:

- ведення податкового обліку при застосуванні ССО і окремого обліку за видами діяльності при сплаті додаткових податків та зборів;
- автоматичне ведення бухгалтерського і податкового обліку;
- автоматичне формування форм бухгалтерської і податкової звітності та звіту в ПФУ з персоналізованого обліку.

**Програма "ІС: Спрощена система оподаткування"** надає можливість переходу на спрощену систему оподаткування із загального режиму оподаткування. Взагалі вона й призначена для бухгалтерського обліку на малих підприємствах, що застосовують ССО, і дає можливість [8]:

- визначати порядок і умови початку і припинення застосування спрощеної системи оподаткування;
- вести облік з вибором бази оподаткування: доходи або доходи, зменшені на величину витрат;
- вести бухгалтерський і податковий облік.

Серед пакетів прикладних програм найбільшої популярності у користувачів набула програма "ІС: Бухгалтерія" версія 8 для України. Але впровадження дорогих програмних продуктів комп'ютеризації бухгалтерського обліку не дозволяє вирішити всі проблеми підприємства. В даний час мало хто з підприємців може дозволити собі дійсно належні рішення автоматизації системи обліку.

## Висновки

На сучасному ринку програмних продуктів для малого та середнього бізнесу пропонується велика кількість систем автоматизації фінансово-господарської діяльності. Це пояснюється тим, що в країнах з розвинутою ринковою економікою кількість підприємств малого та середнього бізнесу є значною, а також дуже широка сфера їх діяльності. Крім того, у керівного персоналу цих підприємств досить високі вимоги до програмного забезпечення, оскільки, їм потрібні сучасні засоби автоматизованої обробки інформації.

Поряд з цим, такі підприємства дуже чутливі до цінових коливань ринку на програми автоматизації обліку та управління. На сьогоднішній день на українському ринку немає універсального програмного продукту, який був би придатним до використання на підприємствах будь-якої форми власності та сфери діяльності.

Отже, при виборі автоматизованої системи управління необхідно враховувати реальні потреби та можливості підприємства, враховуючи те, що розробники пропонують налагодження своїх систем у відповідності зі специфічними вимогами замовників.

Всі способи інформаційного забезпечення бухгалтерського обліку, отже і форми ведення бухгалтерського обліку, мають право на існування. Але найважливішим критерієм при виборі програмного забезпечення для ведення малого бізнесу залишається співвідношення його ціни та можливості своєчасного і повного задоволення вимог законодавства щодо ведення бухгалтерського обліку.

## Список літератури

1. Балдин К.В., Уткин В.Б. Информационные системы в Экономике: Учебник. – 5-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2008. – 395 с.

2. Ивахненко С.В. Информационные технологии в организации бухгалтерского обліку: Наукове видання. – Житомир, 2009. – 416 с.

3. Березина А.В. Структурно-функциональный анализ бухгалтерских программ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://edu.tltsu.ru/sites/sites\\_content/site1238/html/media67809/04Berezina.pdf](http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site1238/html/media67809/04Berezina.pdf).

4. Шарафеева Л.П. Выбор программ автоматизации бухгалтерского учета для малых и средних предприятий / Л.П. Шарафеева // Молодой ученый. – 2016. – №1. – С. 49-52.

5. Середа С. ERP-системы поглощают бухгалтер? [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: URL : <http://www.klerk.ru>.

6. Шуремов Е.Л. Автоматизированные информационные системы бухгалтерского учета, анализа, аудита / Шуремов Е.Л., Умнова Э.А., Воропаева Т.В. . Гриф МО РФ. Учеб. пособие. – М.: Перспектива, 2005. – 363 с.

7. Заяць Я.М., Терещенко В.С. Підвищення якості бухгалтерського обліку шляхом впровадження автоматизованих інформаційних систем // Вісник ДонНУЕТ. – 2009. – С. 192-194

8. Бухгалтерський фінансовий облік [Електронний ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://studme.com.ua/1433081010784/buhgalterskiy\\_uchet\\_i\\_audit/1c\\_predpriyatie\\_8.htm](http://studme.com.ua/1433081010784/buhgalterskiy_uchet_i_audit/1c_predpriyatie_8.htm).

9. Бухгалтерский финансовый учет. Учебник под ред. И.М.Дмитриевой [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: [http://stud.com.ua/10784/audit\\_ta\\_buhoblik/pidpriyemstvo](http://stud.com.ua/10784/audit_ta_buhoblik/pidpriyemstvo).

10. Марченко Д.М. Автоматизация бухгалтерського обліку як джерело підвищення його ефективності // Бухгалтерський облік, аналіз та аудит. – 2009. - № 6(96). – С. 248-254

Надійшла до редколегії 2.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УКРАИНЕ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПРИБЫЛЬНОСТИ МАЛОГО БИЗНЕСА

В.В. Берковский, Н.И. Солодовникова

Статья посвящена вопросам и проблемам внедрения информационных технологий в малом бизнесе, а также раскрыта сущность современных информационных расчетных систем малых предприятий, предоставлен их анализ и классификация.

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система, информационно-расчетная система, информационная технология, бухгалтерская информационная система, бухгалтерская программа.

## ANALYSIS OF INFORMATION AND SETTLEMENT SYSTEMS USED IN UKRAINE IN ORDER TO IMPROVE THE PROFITABILITY OF SMALL BUSINESSES

V.V. Berkovsky, N.I. Solodovnikova

The article is devoted to issues and problems of information technology in small business, and disclosed the nature of modern information and settlement systems of small businesses provided their analysis and classification.

**Keywords:** automated information system, information system design, information technology, accounting information system, accounting software.

## РЕСУРСО-ОРІЄНТОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАЗОВОЇ МЕРЕЖІ ГЕТЕРОГЕННОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ

У статті розглянута базова мережа гетерогенної розподіленої системи. Для побудови її ресурсо-орієнтованої математичної моделі проведено декомпозицію обчислювальних та комунікаційних ресурсів мережі. Це дозволило здійснити розподіл ресурсів між композитними додатками, при цьому були враховані особливості гетерогенного середовища.

**Ключеві слова:** базова мережа, композитний додаток, гетерогенне середовище.

### Вступ

Стрімкий розвиток сучасної науки призводить до постійного збільшення та ускладнення обчислювальних задач у сучасному світі. Тому постає необхідність в створенні систем, які зможуть задовольнити необхідні розрахункові потреби. Одним з пріоритетних напрямків вирішення цієї проблеми є створення композитних додатків (КД), тобто динамічного об'єднання розрахункових сервісів в гетерогенному розподіленому середовищі для вирішення загальної існуючої задачі. При цьому однією із найбільш суттєвих задач є раціональний розподіл ресурсів мережі між різними КД.

**Аналіз літератури.** Задачі розподілу ресурсів мережі присвячено багато наукових робіт [1 – 4]. Але в більшості робіт не враховуються особливості гетерогенного розподіленого обчислювального середовища, що складається з набору різноманітних розрахункових ресурсів, таких як кластери, Грід-мережі, хмарні середовища. Представлені ресурси у багатьох випадках не мають спільних рис побудови та не узгоджують роботу між собою. Тобто вони мають вигляд різних факторів впливу при створенні композитних додатків. Тому важливим питанням постає побудова відповідної математичної моделі.

**Мета статті** – побудувати ресурсо-орієнтовану математичну модель базової мережі гетерогенної розподіленої системи, що враховує її особливості при виконанні композитних додатків.

### 1. Обчислювальні ресурси мережі

Для представлення математичної моделі процесу припустимо, що всі доступні обчислювальні ресурси (ОР) існуючого КД представляють собою деяку множину доступних КД ресурсів  $P$ , яка складається з  $S$  підмножин різних типів ресурсів. В свою чергу під типом ресурсу ми будемо розуміти таке:

- персональний комп'ютер з певними технічними характеристиками (CPU/GPU, RAM, HDD) що є одиничним обчислювальним блоком;

- локальну мережу, створену з набору персональних комп'ютерів, кожен з яких має однакові характеристики (CPU/GPU, RAM, HDD);

- кластери, складові яких мають однакові характеристики (CPU/GPU, RAM, HDD);

- Грід-мережу.

Належність кожного ресурсу до одного типу визначається в залежності від таких факторів як:

- однакові технічні характеристики, час передачі даних між ресурсами одного типу;

- однакові операційні системи або прикладне ПЗ, однакова вартість використання.

Вищенаведене дозволяє провести потипову декомпозицію множини ресурсів:

$$P = \bigcup_{s=1}^S P_s; \quad (1)$$

$$\forall s_1 \neq s_2, s_1, s_2 \in \overline{1, S} \Rightarrow P_{s_1} \cap P_{s_2} = \emptyset,$$

де  $s$  – умовний номер певного типу ОР,  $s \in \overline{1, S}$ ;  $P_s$  – множина обчислювальних блоків (ОБ) типу  $s$ .

В свою чергу кожний ОР типу  $s$  має певну кількість обчислювальних блоків  $N_s$ . Якщо окремий блок з умовним номером  $i$  позначимо як  $p_{si}$ , то можемо зазначити:

$$P_s = \bigcup_{i=1}^{N_s} p_{si}, \quad s \in \overline{1, S}, \quad (2)$$

де  $i$  – номер окремого блоку у відповідній множині  $P_s$  (нумерацію ресурсів одного типу можна побудувати за якоюсь суттєвою ознакою, наприклад, зробити впорядковану шкалу за цінністю ресурсу). У свою чергу обрана ознака може оцінюватись як зі сторони провайдера (що продає ресурс), так і користувача, який цим ресурсом користується.

Виходячи із виразів (1) та (2) проведемо декомпозицію множини  $P$  за елементарними обчислювальними ресурсами:

$$P = \bigcup_{s=1}^S \bigcup_{i=1}^{N_s} p_{si}, \quad \text{card } P = \sum_{s=1}^S \text{card}(p_s). \quad (3)$$

Приклад взаємодії обчислювальних блоків різних типів наведений на рис. 1.

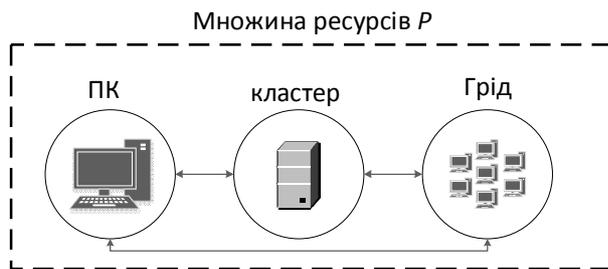


Рис. 1. Приклад взаємодії обчислювальних блоків

## 2. Комунікаційні ресурси мережі

При використанні обчислювального та комунікаційного ресурсів композитні додатки (КД) зазвичай поділяють на такі типи:

- обчислювальні;
- комунікаційні;
- обчислювально-комунікаційні.

Обчислювальний тип пакету КД характеризується великою складністю обчислень, при цьому час для передачі даного пакету до блоку  $p_{si}$  обчислень ігнорують через те, що його значення зазвичай на декілька порядків менше, ніж час обчислень.

Комунікаційний тип пакету КД характеризується суттєво більшим часом передачі даного пакету  $T_{way}$  до блоку обчислень  $p_{si}$  в порівнянні із складністю обчислення.

Під час роботи КД такого типу необхідно постійно слідкувати за часом передачі пакету до обчислювального блоку.

Обчислювально-комунікаційний тип пакету КД характеризується як великою складністю обчислень, що виконуються обчислювальним блоком  $p_{si}$ , так й порівняно великим часом передачі даного пакету  $T_{way}$  до блоку  $p_{si}$ .

Для мультикластерної архітектури приймемо такі допущення:

- передача даних між блоками  $p_{si}$  одного кластера виконується миттєво;
- обчислювальні блоки  $p_{si}$  одного кластера є однорідними за технічними характеристиками.

Також під час планування виконання КД необхідно враховувати проміжки часу, на протязі котрих необхідний блок обчислення  $p_{si}$  не має можливості виконувати обчислення пакету КД. Тоді множину доступних для КД інтервалів часу на ОБ з номером  $i$  типу  $s$  визначимо як об'єднання часових інтервалів, доступних для пакетів КД на протязі розглядаемого часового проміжку  $T_{zar}$ :

$$G_{si} = \bigcup_{k=1}^{K_{si}} [t_{sik}^{st}, t_{sik}^{end}], \quad (4)$$

де  $K_{si}$  – кількість інтервалів, під час яких ОБ  $p_{si}$  може обслуговувати пакет КД, тобто доступний для КД час на ОБ  $p_{si}$  можна розрахувати таким чином:

$$T_{si}^d = \sum_{k=1}^{K_{si}} (t_{sik}^{end} - t_{sik}^{st}) \leq T_{zar}.$$

Тоді сумарний доступний час для пакету КД на всіх ОБ системи знаходяться як

$$T_g = \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{K_{si}} (t_{sik}^{end} - t_{sik}^{st}). \quad (5)$$

## 3. Розподіл ресурсів між композитними додатками

Нехай пакет композитних додатків  $DS$ , що функціонує у гетерогенному обчислювальному середовищі, складеться із  $N_{DS}$  КД, тобто

$$DS = \bigcup_{m=1}^{N_{DS}} DS_m, \quad (6)$$

де  $m$  – умовний номер КД із пакету  $DS$ .

Подальша декомпозиція (6) приводить до розкладання кожного КД на певну кількість обчислювальних задач (ОЗ), тобто

$$DS_m = \bigcup_{m=1}^{N_{DSm}} DS_{mn}, \quad m = \overline{1, N_{DS}}, \quad (7)$$

де  $N_{DSm}$  – кількість обчислювальних задач, що складають  $m$ -й КД. Зауважимо, що оскільки декомпозиція множини  $DS$  проводиться за непересічними множинами, то загальна кількість обчислювальних підзадач пакету КД  $DS$  дорівнює

$$N_p = \sum_{m=1}^{N_{DS}} N_{DSm}.$$

Кожна обчислювальна задача (ОЗ)  $DS_{mn}$  може виконуватися лише на певних доступних типах ОБ із множини  $P_s \subset P$ , номери цих ОБ складають множину  $CP_{smn} \subset \{1, 2, \dots, S\}$ , а кількість таких ресурсів дорівнює  $\text{card}(CP_{smn})$ .

Під час розподілу ресурсів між КД з пакету композитних додатків  $DS$  також необхідно визначити оцінки часу виконання пакетів ( $t_{smn}$ ) для кожного типу обчислювального блоку. Необхідні оцінки можна визначити статистичними методами або за допомогою генетичних алгоритмів, якщо задані потужності всіх обчислювальних блоків  $p_{si}$  та об'єми обчислення задач  $V_{mn}$ . Крім того, необхідно задати крайні терміни завершення КД:

$$\text{EndWork}_m, \quad m = \overline{1, N_{DS}}.$$

Структуру  $m$ -го КД можна задати за допомогою матриці суміжності орієнтованого ациклічного графа  $AG_m = \langle DS_m, E_m \rangle$ , де набір ребер, що ві-

дображують залежності між пакетами, позначений за допомогою множини

$$E_m = \{e_{ij} \mid i, j \in \overline{1, N_{DSm}}\}.$$

Якщо в ациклічному графі  $AG_m$  між задачами  $DS_{mi}$  та  $DS_{mj}$  присутня дуга в напрямку до  $j$ -ої вершини графа, то це відповідає факту необхідності очікування задачею  $DS_{mj}$  результатів задачі  $DS_{mi}$  (рис. 2).

Розподіл ресурсів між композитними додатками пакету DS на деякій множині ресурсів P — це знаходження відображення множини пакетів, що підлягає плануванню, на множину ОБ із вказівкою часу запуску кожної задачі:

$$\eta: (DS, P) \rightarrow T, \quad (8)$$

де T — множина часів запуску задач.

Відображення (8) визначимо таким чином:

$$R_{mn} = \eta(DS_{mn}, CP_{smn}) = \langle s_{mn}, t_{mn}^{(0)} \rangle, \quad (9)$$

де  $s_{mn}$  — тип обчислювального блоку із множини  $CP_{smn}$ , що буде виконувати задачу  $DS_{mn}$ , а  $t_{mn}^{(0)}$  — час запуску блоку на ресурсі  $s_{mn}$  (відлік часу йде на заданому інтервалі виконання пакету КД, що розглядається,  $[0, T_{зар}]$ ), тоді розподіл ресурсів буде заданий множиною R:

$$R = \bigcup_{m=1}^{N_{DS}} \bigcup_{n=1}^n R_{mn}. \quad (9)$$

### Висновки

Розглянуті особливості базової мережі гетерогенної розподіленої системи. На основі проведеного аналізу здійснено декомпозицію обчислювальних та комунікаційних ресурсів мережі. Це дозволило здій-

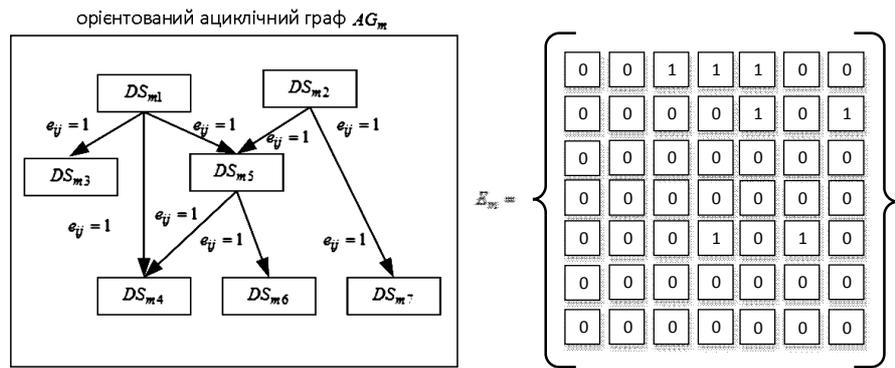


Рис. 2. Приклад зв'язку задач КД

снити розподіл ресурсів між композитними додатками, при цьому були враховані особливості гетерогенного середовища.

Отримані вирази (1) – (9) є ресурсо-орієнтованою математичною моделлю базової мережі гетерогенної розподіленої системи.

Напрямок подальших досліджень — розвиток отриманої математичної моделі в напрямку врахування особливостей композитних додатків.

### Список літератури

1. Network of Information (NetInf) An information-centric networking architecture [Text] / C. Dannewitz, D. Kutscher, B. Ohlman, S. Farrell, B. Ahlgren, H. Karl // Computer Communications. — 2013. — Vol. 36, №. 7. — P. 721-735.
2. Кучук, Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций [Текст] / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Пашичев. — М.: Физматлит, 2006. — 220 с.
3. Кучук, Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення [Текст] / Г.А. Кучук. — Х.: ХУ ПС, 2013. — 264 с.
4. Кучук, Г.А. Математична модель технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі [Текст] / Г.А. Кучук, В.В. Косенко, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. — Х.: ХУ ПС, 2013. — Вип. 6. — С. 234-237. 13.

Надійшла до редколегії 9.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### РЕСУРСО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗОВОЙ СЕТИ ГЕТЕРОГЕННОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

С.С. Бульба

В статье рассмотрена базовая сеть гетерогенной распределенной системы. Для построения ее ресурсо-ориентированной математической модели проведена декомпозиция вычислительных и коммуникационных ресурсов сети. Это позволило осуществить распределение ресурсов между композитными приложениями, при этом были учтены особенности гетерогенной среды.

**Ключевые слова:** базовая сеть, композитное приложение, гетерогенная среда.

### RESOURCE-ORIENTED BASIC NETWORK MATHEMATICAL MODEL OF HETEROGENEOUS DISTRIBUTED SYSTEMS

S.S. Bulba

The article deals with the basic network of heterogeneous distributed systems. To build its resource-based mathematical model decomposition held computing and communications network resources. This allowed the distribution of resources between composite applications, with features taken into account heterogeneous environment.

**Keywords:** basic network, composite application, heterogeneous environment.

УДК 004.056 (043.2)

С.Ю. Гавриленко, І.В. Шевердін, Т.М. Шипова

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## ВДОСКОНАЛЕНА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АНТИВІРУСНОГО ЗАХИСТУ

У статті розроблені шаблони побудови антивірусної системи та описано шляхи вирішення проблеми антивірусного захисту. Забезпечено цілісність антивірусних модулів системи та можливість масштабування кінцевого продукту. Запропоновано принципово новий підхід у побудові антивірусів базуючись на використанні гіпервізору для компонентної агрегації. Вирішено питання відтворення інформації після руйнівної дії вірусної атаки. Запропоновано новий метод мапоорієнтованого опису комп'ютерних загроз. Описано один з методів побудови мап комп'ютерної загрози.

**Ключеві слова:** комп'ютерні системи, гіпервізор, захист інформації, методологія проектування систем антивірусного захисту.

### Вступ

**Постановка завдання та аналіз літератури.** У наш час питання захисту особистих даних та інформації є дуже важливим, тому, що в сучасному світі існує дуже багато шкідливого програмного забезпечення, яке створюється спеціально для крадіжки особистих даних, або просто шпигує за користувачем, що в свою чергу може призвести до негативних наслідків. На даний момент розвитку людства є проблема інформаційної безпеки, як для нашої країни так і для багатьох інших країн світу, що породжує попит на нові методи перешкоджань.

Методи і принципи захисту теоретично не мають особливого значення, головне щоб вони були направлені на боротьбу зі шкідливими програмами. Але на практиці це є набагато складніше. Практично будь-яка антивірусна програма об'єднує в різних пропорціях всі технології і методи захисту від вірусів, створені до сьогоднішнього дня.

**Аналіз літератури** [1 – 9] показав, що антивірусні програми – це програми, основним завданням яких є захист від вірусів, або точніше, від шкідливого програмного забезпечення.

З усіх методів антивірусного захисту можна виділити дві основні групи:

1) сигнатурні методи – точні методи виявлення вірусів, засновані на порівнянні файлу з відомими зразками вірусів (сигнатурами);

2) евристичні методи – інтелектуальні методи виявлення, які дозволяють з певною вірогідністю припустити, що файл є зараженим.

Використовуючи дані методи разом можливо досягти великого проценту виявлення вірусів. Данні методи є основою сучасного антивірусного програмного забезпечення.

Суттєвою проблемою на даному розвитку антивірусного програмного забезпечення є можливість пошкодження модулів антивірусного захисту, що

руйнує захисну функцію антивірусу та можливість пошкодження інформації новою вірусною атакою без відтворення її у майбутньому. Для вирішення даних проблем необхідно використовувати принципово новий підхід у проектуванні антивірусів, а саме виділити антивірус з операційної системи, тому що він має майже однаковий пріоритет з іншим програмним забезпеченням. Проблема виділення антивірусу або підвищення пріоритету у системі є дуже важлива для побудови комплексного антивірусного рішення.

### Основна частина

У роботі пропонується виділити антивірус від операційної системи шляхом відтворення гіпервізору та використання антивірусного модуля у модулі виконання гіпервізору. Використання гіпервізору надає можливість рішення питання цілісності даних, а саме можливість збереження та відтворення даних у режимі виконання операційної системи за алгоритмами антивірусного модуля.

Даний підхід дозволяє абстрагувати операційну систему та антивірус, що гарантує цілісність антивірусного модуля захисту та аналізу, а також надає можливість масштабування всієї системи за рахунок інтерфейсної побудови, можливо кардинально змінювати структуру системи без зміни архітектури.

Також велика перевага гіпервізору, це апаратна віртуалізація. Зокрема сервіс, що приймає запити від зовнішніх ресурсів, є одним з класичних джерел для різного роду уразливостей в безпеці системи. Найчастіше несанкціонований доступ до операційної системи здійснюється саме через експлуатацію уразливостей деякого сервісу. Якщо піддався атаці сервіс поміщений у віртуальний контейнер, наслідки злому можуть бути значно менш руйнівними, ніж у випадку, коли сервіс виконується безпосередньо в операційній системі. В останньому випадку операційна система може бути зламана через один з сервісів, а під удар підставляються все виконуються сервіси.

У разі віртуалізованого сервісу, зловмисник може отримати доступ тільки в рамках віртуального контейнера, так що навіть якщо в системі паралельно виконуються інші сервіси (в інших віртуальних контейнерах), то їх роботі даний інцидент загрожуєвати не буде. Спроби зломщика вичерпати всі фізичні ресурси призведуть тільки до вичерпання ресурсів даного контейнера. Таким чином, зломщик не зможе заволодіти віддалений доступом, вичерпавши всі доступні ресурси. Крім того, зсередини контейнера у зломщика немає можливості перезаписати завантажувач і отримати який-небудь прямиий контроль над обладнанням. При подібному інциденті спроектований мною модуль захисту може просто цілком знищити скомпрометований віртуальний контекст і відновити його і дані з резервної копії, без перезавантаження системи і не зупиняючи роботу інших виконуються на ньому сервісів.

Віртуалізація сервісів дає можливість простого і безбиткового впровадження, переміщення і виведення з ладу будь-якого з сервісів без шкоди загальній інфраструктурі і без простою. Ще одна неочевидна, але важлива вигода використання гіпервізора, яка надається приміщенням сервісів у віртуальні контейнери походить від того, що віртуальні контексти, з одного боку, самодостатні, а з іншого – відокремлені від устаткування. Завдяки цьому, модуль управління має можливість маніпулювати віртуальними контейнерами як цілісними об'єктами, у тому числі переносити з одного носія на інший. Так, для більшості технологій віртуалізації є можливість «заморозки» контейнера в поточному стані, з можливістю подальшої розморожування, в тому числі на іншій машині, при тому що виконуються всередині контейнера процеси навіть не помітять що сталися зміни. Такі можливості дозволяють навіть в процесі роботи мігрувати віртуалізовані сервіси, наприклад, за різними вузлам мережі, гнучко перерозподіляючи обчислювальну навантаження, у тому числі серед вузлів кластера. Крім того, можна знищити віртуальний контейнер, який став непотрібним.

Для побудови даної антивірусної системи доцільно вирішити наступні задачі проектування:

1) розробка антивірусної операційної системи, котра містить операційну систему та відтворює віртуальні апаратні засоби для неї;

2) розробка нейронного блоку, котрий аналізує стан оболонки, відтворює події та передає їх на блок прийняття рішень та аналізу;

3) розробка блоку запитів користувача, котрий відстежує всі дії користувача, для того щоб виключити можливість потенційної помилки користувача або можливості дії програмного забезпечення яке використовується користувачем;

4) розробка блоку формування клонів, котрий буде зріз апаратної пам'яті для подальшого аналізу;

5) розробка блоку відгалуження, котрий формує окремі гілки пам'яті за зазначеною подією та відновлює інформацію чи об'єднує її;

6) розробка блоку віртуалізації, котрий відтворює поведінку вірусу та складає алгоритм вирішення проблеми та відновлення даних;

7) розробка блоку хмарного обчислення, котрий збирає всю інформацію та аналізує її для побудови сигнатурних баз.

В системі присутній блок віртуалізації обладнання, він здійснює повний контроль та перевірку стану системі і у разі атаки може відхилити запит, або відтворити попередній стан даних, також захистити антивірусну систему від несанкціонованого видалення чи пошкодження компонентів. Системний блок статистичного аналізу роботи веде безперервний моніторинг всіх подій та порядку вирішення проблем, що дозволяє побудувати алгоритми та сигнатурні бази на основі котрих можливо припинити розширення вірусів у інших користувачів системи. Завдяки хмарному блоку є можливість об'єднання всіх систем у єдину мережу обробки та операційної віртуалізації для збору та тестування клонів оперативної пам'яті потенційно небезпечних сервісів або програмного забезпечення. У системі існує два основних блоки аналізу подій у оболонці:

1) нейронний блок;

2) блок запитів користувача.

Нейронний блок існує для моніторингу всіх запитів від сервісів та програмного забезпечення. У нейронній мережі можливо представити виконувальні файли як набір карт команд. Нехай набір всіх функцій мови Assembler описується алфавітом  $P$  з  $p$  символів,  $p_t$  –  $t$ -й символ даного алфавіту, є певною функцією мови Assembler. Нехай  $A_{lyz}$  – граф потоку керування аналізованої програми, складається з  $n$  вершин,  $a_q$  –  $q$ -та вершина в  $A_{lyz}$ ,  $q = 1 \dots n$ ,  $S_{ig}$  – граф потоку керування сигнатури поведінки, складається з  $m$  вершин,  $s_g$  – будь-яка конкретна вершина графа сигнатури поведінки,  $g = 1 \dots m$ ,  $n < m$ . Нехай  $a_q$ ,  $s_g$  містять  $k$  і  $l$  стандартних функцій мови Assembler, що входять в кожен конкретний список функцій вершини;  $p, n, m, k, l \in \mathbb{N}$ , і нехай гомоморфізм розглядається як функція

$$\Psi : S_{ig} \rightarrow A_{lyz},$$

така, що якщо в графі  $S_{ig}$  існує шлях, який з'єднує вершини  $s_i$  і  $s_j$ , то і в графі  $A_{lyz}$  існує шлях, котрий з'єднує вершини  $\Psi(s_i)$  і  $\Psi(s_j)$ . Тоді слова  $wa_q$  і  $ws_g$  визначені як:

$$wa_q = \bigcup_{p(v) \in P(A), v=1, k} \overline{p}(v);$$

$$ws_g = \bigcup_{p(v) \in P(S), v=1, l} \overline{p}(v).$$

Нехай  $p_{sydr}$  – ймовірність існування гомоморфізму  $\Psi$  графа  $S_{ig}$  в граф  $A_{lyz}$ .

Задаємо  $f(p_{sydr}, m)$  як

$$f(p_{sydr}, m) = [\text{cros}(wa_q, ws_g)] -$$

функція «схожості» слів  $wa_q$  і  $ws_g$ , що приймає значення «0» або «1». Якщо DLD – функція, яка обчислюється на підставі алгоритму Дамерау-Левенштейна для всіх вершин графа потоку управління аналізованої програми і графа потоку управління поведінкової сигнатури, то нехай

$$\text{cros}(wa_q, ws_g) = \text{DLD}(wa_q \cap ws_g).$$

В разі, якщо існує  $f(\text{psydr}, m)$  вершин  $a_q \in A_{lyz}$ , для яких існує  $s_g \in Sig$ , таких, що  $\text{cros}(wa_q, ws_g) = 1$ , то приймається рішення про перевірку існування гомоморфізму  $\Psi$  графа  $S_{ig}$  в граф  $A_{lyz}$ . Всі виявлені вершини  $a_q$  з  $\text{cros}(wa_q, ws_g)=1$  в  $A_{lyz}$  позначаються. На підставі алгоритму «пошуку простого шляху» перевіряється, чи є шлях в  $A_{lyz}$ , що дозволяє з'єднати вершини  $a_q$  графа  $A_{lyz}$  з  $\text{cros}(wa_q, ws_g) = 1$  в тій же послідовності, що і вершини  $s_g$  в графі  $S_{ig}$ . У разі існування подібного шляху приймається рішення, що код шкідливий [2].

Блок запитів користувача потрібен для відстеження всіх дій користувача, це необхідно для того щоб виключити можливість потенційної помилки користувача або можливості дії програмного забезпечення яке встановлюється користувачем.

## Висновки

Запропонована система, дозволяє оцінити ризики та забезпечити відновлення інформації при атаки на користувацьку операційну систему, що може гарантувати безпеку цілісності даних.

Практичне значення розроблених методів та засобів є важливим в даному напрямлені, тому що існує велика кількість загроз втрати інформації. Сучасні антивіруси, як правило реагують на зараження досить швидко однак врятувати втрачену інформацію вже не можливо.

Таким чином, робота має велику актуальність, тому що на даний момент, не існує антивірусної системи, котра містила у собі операційну систему. Даний підхід дозволяє повністю контролювати всі

дії та при необхідності блокувати їх, також можливо у режимі використання змінювати операційні файли або будувати апаратні клони чи копії апаратної пам'яті всіх пристроїв.

Особистий внесок в роботу полягає в розробці системи, котра буде містити у собі всю низку сучасних алгоритмічних апаратів для вирішення апаратно-програмних загроз та побудові антивірусної системи.

## Список літератури

1. Кнут Е.Д. Мистецтво програмування. Т. 1. Основні алгоритми. – М.: Вид. дім «Вільямс», 2000. – 832 с.
2. Туманов Ю.М. Виявлення шкідливих сценаріїв JavaScript на основі поведінкових сигнатур / Ю.М. Туманов // Безпека інформаційних технологій. – 2009. – № 4. – С. 63-65.
3. Левенштейн В.І. Двійкові коди з виправленням випадків, вставок і заміщень символів / В.І. Левенштейн // Доповіді АН СРСР. – 1965. – Т. 163, вип. 4. – С. 845-848.
4. *Onis Microsoft Azure* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/what-is-azure/>.
5. Касперський К. Записки дослідника комп'ютерних вірусів / К. Касперський. – СПб.: Пітер, 2006. – 316 с.
6. Шелухін О.І. Виявлення вторгнень в комп'ютерні мережі / О.І. Шелухін, Д.Ж. Сакалема, А.С. Філінова. – М.: Гаряча лінія-Телеком, 2013. – 220 с.
7. Семенов. С.Г. Захист даних в комп'ютеризованих керуючих системах (монографія) / С.Г. Семенов, В.В. Давидов, С.Ю. Гавриленко «LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING» Німеччина, 2014. – 236 с.
8. Порошин С.М. Розробка і дослідження математичної моделі комп'ютеризованої інформаційно-виміральної системи, що управляє критичного застосування з урахуванням фактора зовнішніх впливів / С.М. Порошин, С.Г. Семенов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 2 (110). – С. 208-210.
9. Лукацкий А.В. Выявление атак / А.В. Лукацкий. – СПб.: ВХВ-Петербург, 2001. – 624 с.

Надійшла до редколегії 18.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АНТИВИРУСНОЙ ЗАЩИТЫ

С.Ю. Гавриленко, И.В. Шевердин, Т.Н. Шипова

*В статье разработаны шаблоны построения антивирусной системы и описаны пути решения проблематики антивирусной защиты. Обеспечена целостность антивирусных модулей системы и возможность масштабирования конечного продукта. Предложен принципиально новый подход в построении антивирусов, основываясь на использовании гипервизора для компонентной агрегации. Решен вопрос воспроизведения информации после разрушительного действия вирусной атаки. Предложен новый метод картоориентированного описания компьютерных угроз. Описан один из методов построения карт компьютерной угрозы.*

**Ключевые слова:** компьютерные системы, гипервизор, защита информации, методология проектирования систем антивирусной защиты.

## IMPROVED DESIGN METHODOLOGY ANTIVIRUS PROTECTION SYSTEMS

S.Yu. Gavrylenko, I.V. Sheverdin, T.M. Shipova

*The article templates designed building antivirus system and describes solutions to problems of anti-virus protection. Ensuring the integrity of antivirus modules and scalability of the final product. A new approach to building antivirus based on the use of hypervisor component for aggregation. The issue of reproduction of information after the ravages of a virus attack. A new method of describing oriented to the map computer threats. We describe a method of constructing maps of computer threats.*

**Keywords:** computer systems, hypervisor, information security, systems design methodology antivirus protection.

## ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ АСТРОНОМІЧНИХ ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ

В статті описується проблеми використання матриць на базі приладів зі зарядовим зв'язком стосовно астрономічних оптичних засобів спостереження. Розглянуто характерні завади для зображень, отриманих з телескопів, обладнаних ПЗЗ матрицями, та складові процесу спостереження, включаючи калібрування. Досліджено застосування методів фільтрації сформованих зображень, що використовуються для збільшення рівня сигнал-шум на вихідному зображенні. Наведено варіанти для покращення якості інформаційних елементів на зображенні та можливі шляхи їх реалізації.

**Ключові слова:** ПЗЗ матриця, аналіз методів фільтрації, низькочастотні фільтри, адаптивна фільтрація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Україна є загально-визнаною державою з вагомим внеском у світову космічну галузь. Набір телескопів, що використовуються в державі, дозволяє проводити в тому числі візуальне дослідження космічного простору. Телескопи, як системи отримання інформації, мають певний набір проблем при взаємодії між вузлами, а покращення результату роботи такої системи приводить до більш точної роботи астрономів та дозволяє розширити горизонти навіть на існуючій апаратурі.

Проблема, що розв'язується – покращення результатів спостережень засобами цифрової обробки зображень із широким застосуванням придушення шумів та удосконалення існуючих методів відстеження об'єктів спостереження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні десятиліття масований запуск космічних апаратів (КА), а також космічне сміття створили навколо Землі досить велике нашарування космічних тіл, що заново актуалізує задачу фотометричного спостереження та контролю за станом небесних тіл. Деякі автори відмічають, що візуальний тип спостереження може застосовуватись проти координатного при визначенні класу КА, а також часто для визначення передислокації геосинхронних супутників (ГСС). [1].

На поточний момент значна кількість українських телескопів оснащена камерами-приймачами із матрицями ПЗЗ (англ. CCD) [2].

Оглядаючи перспективи розвитку сегменту спостережень за космічними об'єктами модернізація систем оптичного спостереження до надсучасних матриць з напівпровідниковим сенсором, побудованих на основі комплементарної структури метал-оксид-напівпровідників (КМОП) проводить-

ся дуже повільно, та у більшості випадків проводиться силами університетів та лабораторій зі встановлення ПЗЗ матриць для фото та відеофіксації [7].

Проблеми, притаманні для такого роду зчитувачів, є давно відомими [6], а індивідуальні конструктивні підходи до створення/модернізації кожного телескопа [7] визначають напрямки розробки програмного забезпечення, що допомагає забезпечити збір даних, а також обробляти отримані результати у відповідності до умов спостереження та прив'язки [8].

### Основна частина

Телескопічна система складається з оптичної системи, кріплення та приймача сигналу. Як було зазначено українські телескопи використовують ПЗЗ матриці у якості приймача сигналу.

Основна конструктивна особливість ПЗЗ матриць полягає у формі сигналу, що представлена зарядом, який створюється та зберігається під дією зовнішнього електростатичного поля у напівпровідниках.

Прибор зазвичай є набором світлочутливих елементів, що звуться пікселями. Кожен піксель заповнюється електронами пропорційно до кількості світла, яке попадає у момент фіксації. Набір таких елементів формує матрицю.

Астрономічні ПЗЗ матриці характеризуються високою інтегральною чутливістю, а спектральний діапазон лежить в межах від 0,4 до 0,9 мікрон. Чутливість матриці залежить від розміру самих пікселів і від квантової ефективності. Розмір пікселя для сучасних матриць варіюється від 6 до 27 мкм. Що більший розмір пікселя, тим ширший діапазон яскравостей можна отримати, але менш чітким виходить зображення. Пікселі малого розміру дають більш чітке зображення за рахунок

зменшення чутливості. Таким чином, потрібно вибирати компромісні розміри підтримання відношення корисного сигналу до шуму [3]. Роздільна здатність типових матриць коливається в межах від  $512 \times 512$  до  $8176 \times 6132$  пікселів. При необхідності матриці компонується у великі об'єднання матриць по певних схемах сегментів.

Загалом, в залежності від фокусної відстані телескопу поле зору може складати від декількох хвилин до половини кутового градуса.

На рис. 1 показано зображення, захоплене відеокамерою при спостереженні за рухом КА. На кадрі чітко видно ще два світліх об'єкти – це стаціонарні зорі, які за рахунок низької реакції матриці та параметрів витримки збереглися як продовгуваті об'єкти. Таким чином, при визначенні їх розміру виникають певні проблеми [11].



Рис. 1. Кадр необроблених даних з камери

Як видно на зображенні є характерні адитивні та спеклові шуми, фонові засвітка кадру, права межа має шар незадіяних пікселів чорного кольору. Це лише невеликий перелік проблем цього зображення.

Процес спостереження на системі телескопу та прийому зображення на комп'ютер обов'язково повинно включати в себе процес калібрації та складається з взяття кадрів на двох етапах:

- темнові кадри (dark) – для вимірювання власного рівня шумів у матриці, артефактів у структурі матриці тощо;

- плоскі кадри або кадри плоского поля (flat field) – кадри, що враховують нерівномірність чутливості матриці по своїй структурі.

При тривалих спостереженнях рекомендується брати декілька темнових кадрів протягом сесії спостереження. Кожен темновий кадр компенсуватиме темновий сигнал матриці, що великою мірою залежить від температури. Це в подальшій обробці дозволяє отримати більш чіткі вихідні зображення.

З плоскими кадрами часова ситуація трохи гірша і їх слід брати при заході сонця або на світанку вибираючи рівномірно освітлену область неба, без джерел пікового випромінювання. Як альтернативу в [4] пропонується використовувати рівномірне освітлення.

Ці два типи кадрів містять шуми, притаманні окремій оптичній системі в цілому. Після закінчення сесії знімання даних, інформація з цих кадрів віднімається від основних кадрів, таким чином утворюючи фінальне зображення з мінімізацією зазначених типів шумів [5].

Також слід зазначити, що тип шумів, що є певна похибка зчитування (bias), що вноситься електронікою камери. Складається ця похибка з наступних компонентів: похибка попереднього заряду і власне виду структури цієї похибки. При правильному калібруванні можливо прибрати обидва ці компоненти. При використанні фільтрування за допомогою темнових кадрів похибка зчитування не враховується, оскільки темнові кадри вже містять цю компоненту в собі.

Для створення усередненого темного кадру використовується медіанне об'єднання. В подальшому такий кадр віднімається з отриманих даних. Аналогічні процедури виконуються з плоскими кадрами [9].

Після отримання всього набору кадрів можна покращити отримані зображення, застосувавши методи цифрової обробки зображень.

Варіанти такого покращення можуть бути такі:

1. Прибирання фонові заливки та градієнта.
2. Покращення форми яскравого об'єкта.
3. Прибирання косметичних дефектів та покращення композиції.
4. Прибирання шумів.
5. Покращення контрасту.

Найбільш складним є те, що для кожного набору даних вибирається свій набір операцій, які зазвичай визначаються візуально беручи до уваги власний досвід особи, яка спостерігає за небесними об'єктами.

Шум на зображеннях можна прибрати за допомогою морфологічних операцій [10], а також використовуючи низькочастотні фільтри. Суть полягає в тому, що навколишні пікселі усереднюються за допомогою маски з ваговими коефіцієнтами. На кожену точку накладається фільтруючий кадр, який впливає на навколишні точки також. Типовий фільтр задається такою формулою:

$$L = \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Величина кожного з восьми пікселів навколо центру складається разом, попередньо помножившись на ваговий коефіцієнт, та стає новим значенням центрального пікселя. Для того, щоб картинка не розмивалась у всіх напрямках, а тільки вгору-вниз, можна визначити маску з нульовими вагами у крайніх кутових коефіцієнтах перерахувавши решта коефіцієнтів.

Переважа медіанної фільтрації полягає в тому, що «гарячий» піксель на темному фоні буде замінений темним, а не виявиться розмитим по околу сусідніх точок.

Медіанна фільтрація визначається таким чином:

$$V[x, y] = \text{med}\{M[x, y]\}. \quad (2)$$

Результатом фільтрації є середина діапазону значення навколишніх пікселів, причому форма околиці визначається маскою фільтра. Медіанна фільтрація здатна ефективно видаляти із зображення шуми, що незалежно впливають на окремі пікселі.

Задача фільтрації стає набагато складнішою, коли шуми перекриваються по спектру зі спектром корисного сигналу або коли полоса зайвих частот задалегідь невідома чи плаває.

В адаптивних фільтрах частотна характеристика автоматично регулюється відповідно до певного критерію, що дозволяє таку адаптацію до характеру вхідних даних.

У якості прикладу найпростішого адаптивного фільтра можна використати сигма-фільтр. В процесі роботи у вікні розміром  $N$  будуть усереднюватись лише величини, що відрізняються від центрального пікселя на величину допуску  $\alpha$ :

$$x_j, \text{ де } j = \left[ i - \frac{N-1}{2}, i + \frac{N+1}{2} \right]; \quad (3)$$

$$\delta_j = \begin{cases} 1, & x_j \in [x_i - \alpha\sigma_N; x_i + \alpha\sigma_N]; \\ 0, & x_j \notin [x_i - \alpha\sigma_N; x_i + \alpha\sigma_N]; \end{cases} \quad (4)$$

$$x_i = \sum_{j=i-\frac{N-1}{2}}^{i+\frac{N-1}{2}} \frac{x_j \delta_j}{N}. \quad (5)$$

У вищенаведених підрахунках вважають дисперсію адитивного гаусового шуму незмінною. Для двовимірного сигналу принцип ширини вікна зберігається і задається двовимірною маскою, що накладається поетапно на зображення.

Завдяки такому підходу добре зберігаються перепади рівня сигналу.

Недоліком такого фільтру є неможливість прибрати імпульсну заваду. Проте послідовне ви-

користання декількох фільтрів нівелює цей недолік. Другим суттєвим недоліком є низька швидкість і велика кількість необхідних операцій, яка розраховується за такою формулою:

$$OP = 4 \cdot W^2 \cdot K_{\text{пікселів}}. \quad (6)$$

Для значного прискорення обчислень використовується метод плаваючої локальної гистограми. Вона вираховується за допомогою коригування вихідної гистограми.

Вибирається вікно певною шириною. Ширина плаваючого вікна повинна бути не більша за перепади на елементах, що повинні залишитись після фільтрації.

На правій його границі яскравість використовується для підвищення, а на лівій – для зменшення значень гистограми.

Число операцій, що потрібно виконати для корекції визначається формулою:

$$OP = 2 \cdot W + 2(2 \cdot N_{\text{допуску}} + 1) \cdot N_{\text{пікселів}}. \quad (7)$$

Якщо ширина допуску кадру досить мала, то результати фільтрації будуть майже непомітними, оскільки кадр не захоплює багато значень для виконання операції. Саме тому для ефективної роботи ширина плаваючого вікна повинна бути досить великою, щоб врахувати мінімально корисні об'єкти.

Оптимальним розміром такого допуску вважається інтервал

$$\left[ W^2/2; W^2 \right]. \quad (8)$$

Це означає, що результати фільтрації лежать в діапазоні (9)

$$D = \delta^2 \Rightarrow \left[ W\sqrt{2}/2; W \right]. \quad (9)$$

## Висновки

В статті проведений аналіз причин, що впливають на якість зображень, які отримані з телескопів з ПЗЗ матрицями, та проведено аналіз типових методів боротьби з характерними шумами на отриманому зображенні, враховуючи складові процесу спостереження, включаючи калібрування. Наведено спрощені формули наочної реалізації фільтрації.

Досліджено застосування методів фільтрації сформованих зображень, що використовуються для збільшення рівня сигнал-шум на вихідному зображенні.

Наведено варіанти для покращення якості інформаційних елементів на зображенні та можливі шляхи їх реалізації.

Метою подальших досліджень є аналіз та удосконалення методів покращення зображень притаманних для обробки фото та відео астрономічних даних, для апаратури розташованої на території України.

### Список літератури

1. Сухов П.П. Фотометрическая база данных геостационарных спутников астрономической обсерватории ону им. И.И. Мечникова [Електронний ресурс] / П.П. Сухов // 15-та української конференції з космічних досліджень : тези доповідей. – Одеса, 24-28 серпня 2015. – С. 171. – Режим доступу до матеріалу: <http://space-conf.ikd.kiev.ua/archive>.
2. Українська мережа оптичних станцій (УМОС) для дослідження навколоземного комічного простору. Засоби спостереження мережі УМОС. Технічні параметри оптико-електронних систем телескопів, а також їх географічні координати представлені у наступній таблиці [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://imos.mao.kiev.ua/ukr/index.php?slab=slabid-9>.
3. Неуїмін О.С. ПЗС-матриці / О.С. Неуїмін, С.М. Дяченко // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія – Радіотехніка. Радіоапаробудування. – 2010. – № 41. – С. 182-190.
4. Копацкая Е.Н. Фотометрические и поляриметрические наблюдения с ПЗС-камерой на телескопах LX200 и AZT-8 / Е.Н. Копацкая, В.М. Ларионов. – СПб.: СПбГУ, 2007. – 24 с.
5. Сизикова В.С. Предшествующая и последующая фильтрация шумов в алгоритмах восстановления изображений / В.С. Сизикова, Р.А. Экземпляр. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – №1 (89). – С. 112-122.
6. Hainaut O. Basic image processing [Електронний ресурс] / Olivier Hainaut // Режим доступу: <http://www.eso.org/~ohainaut/ccd/>.
7. Вовчик Є.Б. Модернізація існуючих інструментів для спостережень ШНТ / Я.Т. Благодир, А.І. Білінський, Є.Б. Вовчик, К.П. Мартинюк-Лотоцький, Н.В. Вірун // Тези доповідей 14-ої української конференції з космічних досліджень, – Київ, 2014. – С. 88.
8. Романюк Я.О. Celestron satellite telescope – інструмент мережі УМОС для дослідження низькоорбітальних космічних об'єктів [Електронний ресурс] / Є.С. Козирев, Я.О. Романюк, С.Г. Кравчук, О.В. Шульга, Є.С. Сибірякова // // 15-та української конференції з космічних досліджень : тези доповідей. – Одеса, 24-28 серпня 2015. – С. 169. – Режим доступу до матеріалу: <http://space-conf.ikd.kiev.ua/archive>.
9. Szymanek N. A Beginner's Guide to Astrophotography using CCD Systems [Електронний ресурс] / Nik Szymanek // Wex Photographic. – 2015. – Режим доступу до матеріалу статті: [www.wexphotographic.com/blog/a-beginners-guide-to-astrophotography-using-ccd-systems](http://www.wexphotographic.com/blog/a-beginners-guide-to-astrophotography-using-ccd-systems).
10. Гриб Р.М. Морфологічна обробка цифрових зображень з телескопів. / Р.М. Гриб, С.В. Домнін, А.О. Подорожняк // Сучасна спеціальна техніка. – 2013. – № 1 (32). – С. 34-39.
11. Gryb R. Morphological method selecting objects predefined sizes on image / R. Gryb, A. Podorozhnyak // Proceedings of the 12th International Conference "The experience of designing and application CAD Systems in Microelectronics" (CADSM 2013) 19-23 February 2013. – Polyana-Svalyava (Zakarpattia), Ukraine: proc. – Lviv, 2013. – P. 293-294.

Надійшла до редколегії 17.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

### ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ВИЗУАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Р.М. Грыб

В статье описываются проблемы использования матриц на базе приборов с зарядовой связью относительно астрономических оптических средств наблюдения. Рассмотрено характерные помехи на изображениях, полученных с телескопов, оборудованных ПЗС матрицами, и составляющие процесса наблюдения, включая калибровку. Исследовано применение методов фильтрации полученных изображений, что используются для увеличения уровня сигнал-шум на выходном изображении. Приводятся варианты для улучшения качества информационных элементов на изображении и возможные пути их реализации.

**Ключевые слова:** ПЗС матрица, анализ методов фильтрации, низкочастотные фильтры, адаптивная фильтрация.

### HANDLING PROBLEMS OF VISUAL ASTRONOMIC DATA

R.M. Gryb

The article describes issues of using matrixes technologically based on charge-coupled devices related to optical tools of astronomic observations. Typical defects of stills from telescopes equipped by CCD matrixes are reviewed as well as stages of observation process, including a calibration. Filtering methods of retrieved images are researched applying to increasing ratio of signal-noise on destination. Options to increase quality of information elements on images are provided with possible ways of solving.

**Keywords:** CCD matrix, filtering methods analysis, low-pass filters, adaptive filtering.

УДК 621.391 (07)

Б.Ю. Жураковський, Н.М. Довженко

*Державний університет телекомунікацій, Київ*

## СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ДВОВИМІРНИХ ШТРИХОВИХ КОДІВ

*В статті проведено порівняльний аналіз застосування двовимірних кодів. Підкреслено та описано основні особливості формування та застосування даних кодів в сучасних сферах діяльності людства.*

**Ключові слова:** *штрихове кодування, двовимірні коди,, шари даних, рівень корекції помилок.*

### Вступ

Штриховий код — спосіб запису даних, зручний для зчитування машиною. Частіше трапляється штрих-код, записаний за допомогою смуг різної товщини, який містить інформацію про товар. Також існують штрихові коди, складені з крапок, квадратів та інших геометричних фігур, які легко розпізнаються машиною. Використовуються не лише в торгівлі для ідентифікації товару, а й на квитках, документах, авто, у дослідженнях ученими тощо.

Штрихове кодування винайшов молодий інженер Давид Коллінз, який після закінчення інженерного факультету Массачусетського технологічного інституту в 1950-х роках він пішов працювати у Пенсильванську залізницю, де йому довелося зіткнутися з сортуванням вагонів. Вагони треба було перерахувати, з'ясувати номери, та відповідно до документації визначити куди кожен вагон повинен проїхати. Процедура складна, та без гарантії уникнення помилок. Тоді й виникла ідея освітлювати номери вагонів прожекторами та зчитувати їх за допомогою фотоеlementів. Коллінз, щоб зробити простішим упізнання номерів, запропонував записувати їх не лише простими цифрами, але й спеціальним кодом, що містив червоні й сині смуги, розташовані на вагоні в прямокутнику півметра довжиною. Випробування підтвердили, що сканувальний пристрій може правильно зчитувати код навіть при швидкості руху вагона близько 100 км/год. Це підштовхнуло його вдосконалювати систему. В 1968 році замість прожектора, котрий вимагав надто багато електроенергії, він використав сфокусований лазерний промінь, що навело Коллінза на думку використовувати штрихове кодування не тільки на залізниці, але й у якості товарного коду.

В 1973 році в США була створена організація «Універсальний товарний код» (UPC — Universal Product Code), котра пропагує використання штрих-кодів в промисловості та торгівлі.

Штрих код являє собою послідовність чорних ліній і білих проміжків чітко визначених розмірів, за допомогою яких відбувається кодування цифрової та іншої інформації в зручній для машинного зчитуван-

ня формі. Кожна цифра або знак кодується набором штрихів і проміжків за чітко визначеними правилами (стандарт штрих-коду). Існує два основні стандарти штрихового кодування - лінійні (одновимірні або 1D) і двовірні (2D) символіки штрих-кодів. Лінійними (одновимірними) називаються штрих коди, що читаються в одному напрямку (по горизонталі). Найбільш розповсюдженими є наступні лінійні символіки: EAN, UPC, Code39, Code128, Codabar, Interleaved 2 of 5. Лінійні штрих коди дозволяють кодувати невеликий об'єм інформації (до 20-30 символів - зазвичай цифр) за допомогою нескладних штрих-кодів, що читаються недорогими сканерами. Двовимірними називаються символіки, розроблені для кодування великого обсягу інформації (до декількох сторінок тексту). Двовимірний код зчитується за допомогою спеціального сканера двовимірних кодів і дозволяє швидко і безпомилково вводити великий обсяг інформації. Розшифровка такого коду проводиться у двох вимірах (по горизонталі і по вертикалі).

### Двовимірні штрихові коди

Багато років штрихові коди використовувалися як машинно-читаємі ідентифікатори на виробках. Кожна етикетка містила унікальний серійний номер, закодований у вигляді чорних і білих смуг, який служив ключем в базі даних, яка містить детальну інформацію. Така була ідея фахівців. Але багато користувачів потребували кодування більших обсягів інформації. Їм був потрібний штрих-код, що виконує роль портативної бази даних, а не ключа в ній.

Історія двовимірних штрих-кодів розвивалася за двома напрямками. Перше - створення матричних кодів - народилося на початку 80-х з появи двох розробок: Vericode американської фірми Veritec і CP Code японської компанії ID Tech. Наприкінці 80-х представили свої матричні коди Data Matrix і Maxi Code компанії International Data Matrix і United Parcel Services (UPS) відповідно. У 1990 р канадська фірма Artag Tech Systems запропонувала оригінальний варіант матричного коду Artag Tag, в якому дані представлялися фігурами гексагональної і октагональної форми. Трохи пізніше - в 1991 р - з'явився матричний

код Code One американської фірми Laserlight Systems. Свій QR Code компанія Denso запропонувала в 1994 р, але слідом за нею - в 1995 р - з'явилася розробка Aztech Code американської фірми Welch Allyn.

Другий напрямок - створення квазидвухмерних складених штрих-кодів - почалося в 1985 р з появи Code 49 американської компанії Intermecc, в якому можна розташувати до 8 рядів штрихів на тому ж просторі, що займає лінійний код. Наприкінці 80-х вийшло ще декілька розробок: Codablock німецької фірми Identicode System, Code 16K компанії Laserlight Systems і PDF417 (PDF, Portable Data File) фірми Symbol Technologies (США). І, нарешті, в 1996 р американська компанія Zebra представила претендує на універсальність складовою код Ultracode.

У сенсі компактності і надійності зберігання інформації вони являють собою якісний стрибок вперед, у порівнянні з т.зв. лінійними (або одновимірними) штрих-кодами (наприклад: EAN13, Code 39, Interleaved 2 of 5). Якщо лінійні штрих-коди зазвичай дозволяють кодувати 10-30 символів (як правило, тільки цифр або букв латинського алфавіту), то двовимірні здатні вмщати в 100 разів більше даних (наприклад, всю цю сторінку), і це при тому, звичайно, що нічого не перешкоджає використанню їх для малих обсягів даних. Крім того, двовимірні штрих-коди містять інформацію про корекції помилок, тобто дані кодуються таким чином, щоб їх зчитування було можливо навіть при частковій псуванні штрих-коду (наприклад, якщо частина його стерта, відірвана або розлилася бруд). Таким чином, при рівному обсязі кодованих даних, двовимірний штрих-код буде одночасно і компактніше лінійного, і стійкіше до пошкоджень. Двовимірні матричні штрих-коди мають вигляд матриці, складеної з квадратних модулів.

### Особливості двовимірних штрих-кодів

У разі звичайного (одновимірного) штрих-коду записана за допомогою поєднання штрихів і прогалів різної ширини інформація зчитується лінійно, в напрямку, ортогональному штрихам (довжина штриха при цьому інформаційного навантаження не несе). Звідси впливає обмеження на обсяг інформації - зазвичай він не перевищує декількох десятків символів. Головна відмінність двовимірного коду полягає в тому, що в ньому для зберігання інформації використовуються обидва ортогональних напрямки на площині - вертикальне і горизонтальне. У результаті за обсягом збереженої інформації ємність двовимірного коду може в сотні разів перевищувати ємність одновимірного. Якщо при роботі з одновимірним кодом необхідна комп'ютерна база даних, то в багатьох випадках застосування двовимірного коду дозволяє відмовитися від такої бази, оскільки

ємність коду достатня для зберігання повної інформації про об'єкт. У цьому полягає якісна відмінність двох технологій.

Двовимірні коди виявляються незамінними, наприклад, в автономних системах ідентифікації або при необхідності зберігання складних ієрогліфів таких мов, як японський або китайський. Практично всі сучасні технології двовимірних кодів, на відміну від одновимірних, містять засоби корекції помилок і, отже, гарантують більшу надійність захисту даних.

Однак пристрої для створення, нанесення, сканування і декодування двовимірного штрих-коду набагато складніше і, отже, дорожче, ніж широко поширене обладнання для лінійних кодів. Фактично по підтримуваним обсягами даних і функціональним можливостям технологія двовимірного кодування займає проміжне місце між технологіями одновимірних штрих-кодів і віддаленої ідентифікації.

Двовимірні коди діляться на складові і матричні. Складовий код являє собою послідовність лінійних кодів, розмістити яку на тій же площі, що і одновимірний код, вдається шляхом зменшення довжини штрихів. Закладена в цьому коді простота форм (прямокутники штрихів і пробілів) дозволяє зчитувати його за допомогою відносно нескладних лазерних сканерів або лінійних рідерів.

Матричний код являє собою частково заповнену чорним барвником сітку з (у більшості випадків) квадратних модулів - осередків даних. Такий код зчитується вже не лінійним, а спеціальним майданним рідером.

Розглянемо найбільш популярні двовимірні штрихові коди.

**1. ArrayTag** (рис. 1). ArrayTag був розроблений д-ром Уорреном Д. Літлом (Dr. Warren D. Little) в Університеті Вікторії і є фірмовим кодом. Символ складається з простих шестикутних символів з додатковою кордоном, які наносяться або окремо, або групами в певній послідовності.

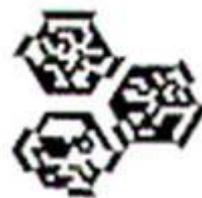


Рис. 1. Графічне зображення коду ArrayTags

ArrayTags може кодувати сотні розпізнавальних знаків і зчитуються на відстані до 50 метрів. Він оптимальний для зчитування на різній відстані і при різному освітленні. Основна область застосування цього коду - відстеження лісо- та пиломатеріалів.

**2. Codablock** (рис. 2). Codablock – це складна символіка на основі ICS Identicode-Systeme. Він був розроблений Генріхом Елманном (H. Oehlmann) та спочатку являв собою пакет символів Code 39.

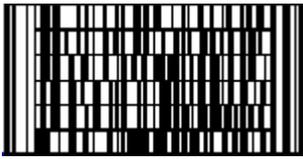


Рис. 2. Графічне представлення коду Codablock

Кожен символ Codablock містить від 1 до 22 рядків. Число знаків в ряду є функцією  $x$ -розміру символу. Іншими словами, кожен ряд може містити різну кількість символів. Кожен символ має початкові і кінцеві штрихи по всій висоті символу. Кожен ряд має двозначний покажчик ряду, а останній ряд символу може мати додатковий контрольну цифру. Програма друку символу повинна розраховувати не тільки число необхідних рядків, як в інших складених символіки, але також визначати число знаків в ряду і щільність друку, необхідні для найкращого розміщення інформації в символі Codablock.

Перевагою цього коду є те, що його можна зчитувати сканером з рухомим лазерним променем без особливих відхилень спотворень. Codablock був прийнятий німецькими станціями заготівлі донорської крові для ідентифікації крові.

**3. Code 16K** (рис. 3). Code 16K був розроблений Тедом Вільямсом (Ted Williams) в 1989 як багаторядна символіка, що відрізняються простою друку і декодування. Вільямс розробив також Code 128, а структура 16K заснована на Code 128.



Рис. 3. Графічне представлення коду Code 16K

Назва коду не випадковий - 128 в квадраті дорівнює 16000, або коротко 16K. За допомогою Code 16K вдалося вирішити проблему Code 49, структура якого вимагає великого обсягу пам'яті для кодування і декодування таблиць і алгоритмів. 16K є складеною символікою.

Символи Code 16K можуть зчитуватися модифікованим лазером з рухомим променем чи сканерами CCD. Ряди можна сканувати в будь-якому порядку. Після того, як лічений останній ряд, пристрій, що зчитує штрих-код, вибудовує інформацію в правильній послідовності. Етикетки можуть друкуватися за допомогою стандартних технологій друку.

**4. Code 49** (рис. 4). Code 49 був розроблений Фавідом Елаїсом (Favid Allais) в 1987 в Intermec Corporation з метою вирішення задачі розміщення великої кількості інформації в символі дуже малих розмірів. Code 49 вирішує цю задачу за допомогою використання послідовностей символів штрих-коду, роз-

ташованих у кілька рівнів один над одним. Кожен символ може мати від двох до восьми рядків. Кожен ряд складається з початкової зони мовчання, стартовою комбінації, чотирьох інформаційних слів, що кодують восьмий знаків, де останній знак - знак перевірки рядків; стопову комбінацію і завершальну зону мовчання. Кожен ряд кодує інформацію за допомогою 18 штрихів і 17 прогалін і розділяється високим модульним розділовим штрихом (роздільником рядків).

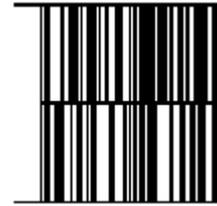


Рис. 4. Графічне зображення коду Code 49

Даний код являє собою безперервну символіку змінної довжини, яка може кодувати повний набір з 128 символів ASCII. Насправді його структура є певним гібридом UPC і Code 39. Intermec зробив цей код загальнодоступним (безліцензійний).

Сканування Code 49 може проводитися за допомогою модифікованих сканерів з рухомим лазерним променем або сканера CCD. Intermec виробляє сканери CCD, які можуть декодувати символи Code 49 поряд зі стандартними штрих-кодними символіками. Етикетки можуть друкуватися з використанням стандартних технологій друку.

**5. MaxiCode** (рис. 5). Maxicode (спочатку іменувався UPSCode і іноді Code 6) являє собою матричний код, розроблений United Parcel Service в 1992. Тим не менш, це не послідовність квадратних точок - MaxiCode складається з комбінації з 866 переплетених шестикутників, розміром 1 дюйм на 1 дюйм. У результаті щільність цього коду принаймні на 15 відсотків вище, ніж щільність звичайного коду, що використовує точки квадратної форми, однак, для друку таких символів потрібні принтери з більш високою роздільною здатністю, наприклад, термографічні або лазерні принтери. У центрі символу перебувати мішень «котяче око», що дозволяє сканеру відрізнити етикетку незалежно від її положення.

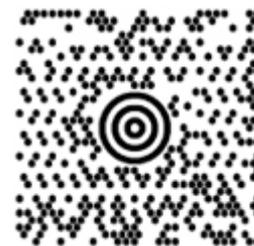


Рис. 5. Графічне представлення коду MaxiCode

У символі розміром 1 дюйм може розташовуватися близько 100 знаків ASCII. Символ може бути прочитаний, навіть якщо до 25 відсотків його були

пошкоджені, Він також може зчитуватися за допомогою камери або сканера CCD.

**6. DataMatrix** (рис. 6). Data Matrix, розроблений Siemens, являє собою двовимірний код, призначений для розміщення великої кількості інформації на дуже обмеженому просторі.



Рис. 6. Графічне представлення коду Data Matrix

Символ Data Matrix може зберігати від 1 до 500 знаків. Розмір символу може варіюватися від 1 квадратного міліметра до 14 квадратних дюймів. Це означає, що символ Data Matrix може мати щільність до 500 000 000 знаків на 1 квадратний дюйм. Насправді, щільність, звичайно ж, залежить від рішення при друку і використовуваної технології зчитування.

**7. Code 1 (Code One)** (рис. 7). Code 1 був винайдений Тедом Вільямсом (Ted Williams) в 1992 і є найпершою безліцензійною матричною символікою. У цьому коді використовується шаблон пошуку, що складається з горизонтальних і вертикальних штрихів, які перетинають середню частину символу.



Рис. 7. Графічне представлення коду Code 1

Символ може кодувати інформацію ASCII, інформацію щодо усунення помилок, символи, що управляють і закодовані двійкові дані. Прийнято 8 розмірів - від коду 1A до коду 1H. Код 1A може містити 13 буквено-цифрових знаків або 22 цифри, а код 1H - 2218 буквено-цифрових знаків або 3 550 цифр. Найбільший символ має 134x в ширину і 148x у висоту. Сам код може мати різноманітну форму, наприклад, L, U, або T-подібну форму.

Code 1 в даний час використовується в медичній промисловості для маркування етикеток медичних товарів, а також у переробній промисловості для кодування вмісту контейнерів для сортування.

**8. PDF 417** (рис. 8). PDF417 являє собою багаторівневу символіку і був розроблений Інджіуном Вангом в 1991 в Symbol Technologies, яка тепер належить Motorola. PDF означає Portable Data File (портативний інформаційний файл) і символіка складається з 17 модулів, що містять 4 штриха і проміжки між ними (звідси число "417"). Код відкритий для загального користування.



Рис. 8. Графічне представлення коду PDF417

Структура коду дозволяє розміщувати від 1000 до 2000 знаків в одному символі з щільність інформації від 100 до 340 знаків. Кожен символ має стартову і стопову групу штрихів протяжністю по всій висоті символу. Символ PDF417 може зчитуватися за допомогою модифікованого ручного лазерного пристрою або сканерів CCD. Для друку цієї символіки слід використовувати принтери з високою щільністю друку (термографічні або лазерні).

**9. QR Code** (рис. 9). QR Code (Quick Response Code) являє собою матричний код, розроблений Nippondenso ID Systems і є безліцензійний.



Рис. 9. Графічне представлення коду QR Code

Символи QR Code мають квадратну форму і легко визначаються завдяки шаблону пошуку, який представляє собою комбінацію вкладених один в одного переміжних темних і світлих квадратів, розташованих за трьома кутами символу. Максимальний розмір символу - 177 квадратних модулів, що дозволяє кодувати 7366 цифрових знаків, або 4 464 буквено-цифрових знаків. Однією з найважливіших відмінностей символіки є її здатність здійснювати пряму кодування символів і літер японського алфавіту. QR Code призначений для швидкого зчитування з використанням камер CCD і технологій обробки зображень завдяки шаблону пошуку.

**10. AztecCode** (рис. 10). Aztec Code був розроблений Енді Лонакром (Andy Longacre) з Welch Allyn Inc. в 1995 р.



Рис. 10. Графічне представлення коду Aztec Code

Цей код відкритий для загального користування. Aztec Code розроблявся для забезпечення простоти друку і декодування. Квадратні символи розташовані на квадратній сітці з квадратною мішенню «котяче око» в центрі. Найменший символ Aztec Code являє собою квадрат 15x15 модулів, а найбільший - 151x151. Найменший символ Aztec Code кодує 13 цифрових або 12 буквених знаків, у той час як найбільший символ Aztec Code кодує 3832 цифрових або 3 067 літерних знаків, що становить 1914 бітів інформації. Цей код не вимагає «зони мовчання» за межами символу. В цілому пропонується 32 розміру символів і користувач сам визначає рівень кодування виправлення помилок за технологією Ріда-Соломона (Reed-Solomon) - від 5% до 95%. Рекомендований рівень - 23% розміру символу плюс 3 кодових слова Ріда-Соломона.

**11. Ultracode** (рис. 11). Ultracode був розроблений Zebra Technologies і відкритий для загального доступу. Символ складається зі смуги колонок змінної довжини, що складаються з елементів зображення, ширина яких не є строго визначеною.



Рис. 11. Графічне представлення коду Ultracode

Код включає цифровий і буквено-цифровий режими з новітніми технологіями обробки сторінки (мова програмування/код), і різними рівнями корекції помилок Ріда-Соломона, які може вибирати сам користувач. Підтримується як чорно-біла, так і кольорова версії, що володіє більшою щільністю. У символіці використовуються пари вертикальних колонок з 7 монохромних (чорно-білих) або 8 багатобарвних (зазвичай білих, червоних, зелених, синіх, бірюзових, бузкових, жовтих і чорних) осередків для кодування одиниці інформації у вигляді точки на різних рівнях символу (43 рівня мовних груп). Символіки Ultracode відрізняються від більшості двовимірних штрихових кодів з корекцією помилок

тим, що відношення висоти символів до їх довжини таке ж, як у існуючих лінійних штрих-кодів, і тому не відносяться до числа кодів великої ємності. Ultracode найкраще підходить для прямого друку з низькою лінійною точністю.

## Висновки

Двовимірні штрих коди добре пристосовані для візуальної технології зчитування і для кодування як малих, так і великих обсягів даних. Вони цікаві для застосувань, що вимагають розміщення коду на обмеженому просторі (виробництво, комерція, медицина, фармацевтика і т.д.), оскільки код забезпечує високу щільність розміщення інформації і не вимагає вільного простору навколо коду.

Деякі поштові відомства розглядають можливість використання двовимірних штрихових кодів в якості 'електронного штампу' поштового відправлення, в той же час електронне кодування підпису за допомогою цих кодів привернуло увагу деяких транспортних компаній. Штрих-код дозволяє розпізнавати інформаційну фальсифікацію, супроводжуючу зазвичай інші види підробок. Все це дає підставу вважати, що всі сфери застосування двовимірних кодів ще достеменно не досліджені і є ще багато можливостей їх використання.

## Список літератури

1. Рынок QR-кодов в России и в мире [Електронний ресурс]. – Режим доступу до матеріалу статті: [http://web.json.ru/poleznye\\_materialy/free\\_market\\_watches/analytics/market-qr-codes-in-russia-and-the-world-ru/](http://web.json.ru/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/market-qr-codes-in-russia-and-the-world-ru/)
2. Логачев В.. Что несет QR-код? [Електронний ресурс] / В. Логачев. – Режим доступу до матеріалу: <http://www.ridcom.ru/publications/131/>
3. Читаем QR код [Електронний ресурс]. – Режим доступу до матеріалу статті: <http://habrahabr.ru/post/127197/>
4. Жураковський Б.Ю. Особливості застосування технології QR-кодування в телекомунікаційній мережі України / Б.Ю. Жураковський, Н.М. Довженко // 1 Науково-технічна конференція "Актуальні проблеми розвитку науки і техніки", ДУТ, м.Київ.– 22.10.15. – С. 18-21.

Надійшла до редколегії 12.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ШТРИХОВЫХ КОДОВ

Б.Ю. Жураковский, Н.М. Довженко

*В данной статье проведен сравнительный анализ применения двумерных кодов. Подчеркнуто и описано основные особенности формирования и применения данных кодов в современных сферах деятельности человечества.*

**Ключевые слова:** штриховое кодирование, двумерные коды, слои данных, уровень коррекции ошибок.

## THE FIELD OF APPLICATION OF TWO DIMENSIONAL BARCODES

B.Yu. Zhurakovskyy, N.M. Dovzhenko

*This article is about a comparative analysis of the two-dimensional codes. The main features of the formation and application of these codes in modern fields of human activity were highlighted and described.*

**Keywords:** bar coding, barcode scanners, data layers, the level of error correction.

УДК 004.02

І.В. Ільїна, О.В. Біжко

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

*У статті проведено аналіз основних понять і сутності тривимірної графіки і візуалізації. Показано використання тривимірної графіки в різних сфер діяльності людини. Розглянуто програмне забезпечення для візуалізації.*

**Ключові слова:** тривимірна графіка, візуалізація, програмне забезпечення.

### Вступ

Комп'ютерна графіка в епоху інформаційних технологій є досить популярним напрямком використання комп'ютера. Комп'ютерне тривимірне моделювання, анімація і графіка в цілому не знищують в людині справжнього творця, а дозволяють йому звільнити творчу думку від фізичних зусиль, максимально налаштувавшись на плід свого творіння. Звичайно, поки що неможливо займатися графікою без певних навичок, але технологія не стоїть на місці і, можливо, в недалекому майбутньому творіння людини буде залежати тільки від його думки.

Навряд чи знайдеться людина, що не помітила вплив 3D-технологій на сучасне життя. 3D модель з'являється раніше, ніж народжується реальний об'єкт: будівля, обладнання, машина. Кіно неможливо уявити без 3D спецефектів, об'ємних милих вигаданих персонажів. Це тільки деякі, найбільш гучні приклади. І це нормальний процес еволюції людства.

Візуалізація завжди є останнім кроком роботи над тривимірним проектом. Можна сказати, що без візуалізації робота в 3D-редакторі не має ніякого сенсу, оскільки без неї не можна отримати кінцевий результат. Невдало виконана візуалізація може звести нанівець всі багатоденні зусилля по моделюванню, освітленню і текстурванню сцени. Візуалізацію також називають рендерингом, або прорахунком.

### Основна частина

3D графіка - це процес створення об'ємної моделі за допомогою спеціальних комп'ютерних програм. Цей вид комп'ютерної графіки увібрав в себе дуже багато з векторної, а так само і з растрової комп'ютерної графіки. На основі креслень, малюнків, докладних описів або будь-яких інших графічних або текстових інформації, 3D дизайнер створює об'ємне зображення або відео.

У спеціальній програмі на модель можна подивитися з усіх боків (зверху, знизу, збоку), вбудувати на будь-яку площину і в будь-яке оточення. 3D графіка, як і векторна, є об'єктно-орієнтованою, що дозволяє змінювати як всі елементи тривимірної

сцени, так і кожен об'єкт окремо. Цей вид комп'ютерної графіки володіє великими можливостями для підтримки технічного креслення. За допомогою графічних редакторів тривимірної комп'ютерної графіки, можна виконувати наочні зображення деталей і виробів машинобудування, а також виконувати макетування будівель і архітектурних об'єктів, що вивчаються у відповідному розділі архітектурно-будівельного креслення. Поряд з цим може бути здійснена графічна підтримка таких розділів нарисної геометрії як, перспектива, аксонометричні і ортогональні проєкції, тому що принципи побудови зображень в тривимірній комп'ютерній графіці частково запозичені з них.

Для створення графічного тривимірного об'єкту необхідно пройти кілька кроків: моделювання - розробка тривимірної математичної моделі сцени і об'єктів в ній; рендеринг - створення проєкції відповідно до параметрів обраної фізичної моделі; виведення отриманого зображення на потрібний пристрій (принтер або дисплей монітора) [1].

Візуалізація – термін в комп'ютерній графіці, що позначає процес отримання зображення за моделлю за допомогою комп'ютерної програми.

На цьому етапі математична просторова модель перетворюється на плоску картинку. Як структура даних, зображення на екрані представлене матрицею крапок, де кожна точка визначена, принаймні, трьома числами: інтенсивністю червоного, синього і зеленого кольору. Таким чином, рендеринг перетворює тривимірну векторну структуру даних в плоску матрицю пікселів. Цей крок часто вимагає дуже складних обчислень, особливо якщо потрібно створити ілюзію реальності. Найпростіший вид візуалізації - це побудувати контури моделей на екрані комп'ютера за допомогою проєкції. Зазвичай цього недостатньо і потрібно створити ілюзію матеріалів, з яких виготовлені об'єкти, а також розрахувати спотворення цих об'єктів за рахунок прозорих середовищ (наприклад, рідини в склянці) [3].

Процес візуалізації може відбуватися на безлічі комп'ютерів, що працюють разом, які використовуються компаніями для прискорення процесу візуалі-

зації. Рендеринг може зайняти від декількох секунд до декількох місяців в залежності від виконуваної роботи.

Різновиди комп'ютерної візуалізації створені через велику різноманітність сфери її застосувань:

Реалістичний рендеринг - техніка, створення «реалістичного» кольорового відеозображення, яка б враховувала, зокрема, ефекти випромінювання, відображення і заломлення світла, є частиною комп'ютерної анімації. Засоби реалізації реалістичного рендеринга представляють собою комп'ютерну імітацію використання звичайних художніх засобів і методів (Х-методів або Natural Media), як би «без допомоги комп'ютера». Ці засоби забезпечують створення і модифікацію джерел світла, зафарбовування поверхні об'єктів, накладення на них потрібної текстури (наприклад, різного роду неузгодженостей), спотворення поверхонь, внесення ефектів напівпрозорості об'єктів.

Нефотореалістичний рендеринг (нереалістичний рендеринг); - тип комп'ютерної генерації зображень, який не ставить за мету досягнення фотореалізму; зазвичай означає комп'ютерне моделювання різних художніх засобів і методів. Види нефотореалістичного рендерингу: живописний тривимірний рендеринг, живописна постобробка, імітація художніх інструментів і техніки (начерків, малюнків пером, гравюр), автоматична генерація технічного малюнка, нетрадиційна перспектива, стилізована передача руху.

Живописний рендеринг - термін, який використовується для комп'ютерних графічних робіт, що імітують роботу, виконану вручну. Більшість програм для реалізації живописного рендерингу орієнтовані на обробку образотворчого матеріалу, заздалегідь підготовленого іншими засобами. Такі програми мають в своєму складі спеціальні алгоритми і інструментарій, що дозволяють вводити різні ефекти і виробляти їх настроюку.

Візуалізацію можна розділити на два типи:

- візуалізація в режимі реального часу («real-time rendering»). В цьому випадку сцена рендериться зі швидкістю не менше 24 кадрів за секунду і можна використовувати інтерактивну взаємодію з тривимірним світом. Для досягнення високої продуктивності найчастіше доводиться жертвувати якістю і деталізацією одержуваної картинки. Застосовується, головним чином, в комп'ютерних іграх, науковій та промислової візуалізації, де необхідно стежити за динамікою процесу, що відбувається.

- відкладена візуалізація («offline rendering»). У цьому випадку швидкість рендерингу не грає такої великої ролі, як якість одержуваної картинки. Тому час рендерингу одного зображення може доходити до сотень годин. Але за якістю картинки відрендерене зображення часом неможливо відрі-

нити від фотографії, а комп'ютерну анімацію від фільму. Для створення такого роду зображення використовуються пакети тривимірного моделювання, такі як 3ds Max, Maya, Blender і інші. Застосовується в кінематографі, дизайні.

На даний час розроблено безліч алгоритмів візуалізації. Існуюче програмне забезпечення може використовувати декілька алгоритмів для отримання кінцевого зображення.

Трасування кожного променя світла в сцені непрактично і займає неприйнятно тривалі періоди часу. Навіть трасування малої кількості променів, достатнього, щоб отримати зображення, займає надмірну кількість часу, якщо не застосовується апроксимація (семплірування).

Внаслідок цього, було розроблено чотири групи методів, більш ефективних, ніж моделювання всіх променів світла, що висвітлюють сцену:

**Растрезація і метод сканування рядків.** Візуалізація проводиться проектуванням об'єктів сцени на екран без розгляду ефекту перспективи щодо спостерігача.

**Метод кидання променів.** Сцена розглядається, як спостережувана з певної точки. З точки спостереження на об'єкти сцени направляються промені, за допомогою яких визначається колір пікселя на двовимірному екрані. При цьому промені припиняють своє поширення (на відміну від методу зворотного трасування), коли досягають будь-якого об'єкта сцени або її фону. Можливо використовуються якісь дуже прості техніки додавання оптичних ефектів або внесення ефекту перспективи.

**Глобальна ілюмінація.** Використовує математику кінцевих елементів, щоб симулювати дифузне поширення світла від поверхонь і при цьому досягати ефектів «м'якості» освітлення.

**Трасування променів схожа на метод кидання променів.** З точки спостереження на об'єкти сцени направляються промені, за допомогою яких визначається колір пікселя на двовимірному екрані. Але при цьому промінь не припиняє своє поширення, а поділяється на три компоненти, променя, кожен з яких вносить свій внесок в колір пікселя на двовимірному екрані: відбитий, тінювий і заломлений. Кількість таких поділів на компоненти визначає глибину трасування та впливає на якість і фотореалістичні зображення. Завдяки своїм концептуальним особливостям, метод дозволяє отримати дуже фотореалістичні зображення, але при цьому він дуже ресурсомісткий і процес візуалізації займає значні періоди часу. Передове програмне забезпечення зазвичай суміщає в собі кілька технік, щоб отримати достатньо якісне і фотореалістичні зображення за прийнятні витрати обчислювальних ресурсів [4].

Реалізація механізму рендерингу завжди ґрунтується на фізичній моделі. Обчислення, що виконують-

ся, відносяться до тієї чи іншої фізичної або абстрактної моделі. Головні ідеї прості для розуміння, але складні для застосування. Як правило, кінцеве елегантне рішення або алгоритм більш складні і містять в собі комбінацію різних методів [5].

В комп'ютерній графіці рівняння рендерингу – інтегральне рівняння, яке визначає кількість світлового випромінювання у певному напрямку як суму власного та відбитого випромінювань. Рівняння вперше було опубліковано в роботах Девід Имелл [6] і Джеймс Кайя [7] в 1986 році.

Різні алгоритми комп'ютерної графіки розв'язують це основне рівняння.

Фізичною основою рівняння є закон збереження енергії. Нехай  $L$  — це кількість випромінювання в заданому напрямку у заданій точці простору. Тоді кількість вихідного випромінювання ( $L_{\text{вих}}$ ) є сумою випроміненого ( $L_{\text{вх}}$ ) і відбитого світла. Відбите світло може бути поданим у вигляді суми випромінювання, що приходить по всім напрямкам, помноженої на коефіцієнт відбиття з даного кута [8].

**Використання 3D графіки.** Тривимірне моделювання на сьогоднішній день зачіпає дуже багато сфер діяльності людини. Деякі з них:

**3D графіка в архітектурі та інтер'єрі.** Більшість будівельних компаній і агентств давно переконалися в перевагах інформаційних технологій в будівництві. Інтерактивна 3d презентація котеджів є одним з універсальних проєктів по візуалізації житлових приміщень в 3d форматі.

В першу чергу вона є важливим рекламним інструментом. По-друге - це можливість візуалізації котеджів як всередині приміщення, так і зовні. Портрети - це можливість віртуально вивчити і дослідити предмети інтер'єру котеджів. Або, наприклад, оглянути планування майбутніх кімнат, відкривати і закривати двері, світло включати і вимикати. А також приблизно прикинути: де і як можна розташувати меблі і побутову техніку.

При перегляді інтерактивної презентації користувач може прогулятися територію, до якої має інтерес, наприклад, відвідати віртуальний балкон котеджу, побачити очікуваний вид природи, або житлових приміщень, які можуть будуватися поблизу.

Особливість такої презентації від інших відео презентацій полягає в різноманітності кількості переглядів. Програма функціонує таким чином, що ви можете спостерігати за інтер'єром котеджу з різних місць, оскільки презентацією ви керуєте самі.

**3D графіка в промисловості.** 3D моделювання дозволяє зобразити навіть найдрібнішу деталь обладнання і продемонструвати її замовнику, клієнту або партнеру з будь-якого ракурсу і навіть зсередини. Більш того, весь завод може бути спроектова-

ний в 3D з можливістю для користувача збільшувати об'єкт «до гвинтика», якщо це необхідно. Також це і унікальна можливість наочно показати якийсь технологічний процес або процес роботи обладнання з використанням анімаційних ефектів.

**3D графіка в рекламі.** Застосування 3D-технологій в рекламі це вже не новинка. Рекламний бізнес, як відомо один з найбільш інноваційних, постійна конкуренція вимагає пошуку нових рішень і підходів до подачі інформації. У рейтингу існуючих підвидів реклами, відеореклама як і раніше зберігає високі позиції, і залишається однією з основних видів реклами. Єдино що змінюється це якість відеороликів, і підхід до їх створення.

Виробники автомобілів були одними з перших, хто усвідомив всю міць тривимірної графіки, і зараз на всіх рекламних плакатах і в журналах ми бачимо не фотографії автомобілів, а їх тривимірні моделі, вже не кажучи про те, що за допомогою 3D-графіки можна розібрати автомобіль буквально на запчастини.

**3D графіка в медицині.** Технології тривимірного моделювання активно увійшли і в область медичних досліджень, адже ця область зачіпає найбільш складні наукові питання - здоров'я людини і його життя:

Медицина є найцікавішою сферою для застосування тривимірного друку. У стоматології вже можна створювати протези і коронки, причому це займає меншу кількість часу, ніж при використанні вже звичних для нас виробничих технологій. Також можливо відтворювати точні копії будь-яких частин людського тіла і скелета. Наприклад, американська компанія Oxford Performance Materials успішно провела операцію по заміні частини людського черепа імплантом, створеним за допомогою 3D принтера. Даний імплант не є просто шматком пластмаси, він складається з 23 кісток і в точності повторює кожен частину черепа. Але найдивовижніше, що технології 3D друку застосовуються для створення живих людських органів. Ще в 2011 році вдалося створити людську нирку, на створення якої пішло 3 години. Також співробітникам компанії Organovo вдалося відтворювати невеликі фрагменти печінки. Тканина створюється за принципом звичайного 3D друку, але в якості матеріалу використовують різновиди клітин.

Досить часто 3D-анімація стала використовуватися в суді для з'ясування обставин катастроф або автомобільних аварій - вона дозволяє продемонструвати послідовність подій, що відбуваються. Для її створення достатньо зібрати всі факти, свідчення свідків і врахувати реальні закони фізики.

**3D графіка в науці.** Фахівці, знайомі з 3D-графікою, вже давно визнали її значення для надання складних даних як в сфері бізнесу, так і в науковій сфері. Хоча статичні гістограми досить зручні для

надання інформації про торгові операції, їх не завжди можна застосовувати для показу дослідних даних. Часто для демонстрації математичних принципів, біологічних структур і зв'язків або явищ природи підходить тривимірна анімація.

Наприклад, популярним способом застосування 3D-графіки в сфері наукових досліджень є створення системи моделювання погоди: вона дозволяє наочно побачити високі і низькі області тиску, опади, повітряні потоки і інші параметри моделювання. Єдиний можливий недолік тривимірної анімації в науковій галузі - це необхідність використання складних систем, гігабайтів даних і високий рівень програмування.

**3D графіка комп'ютерних іграх.** Однією з найбільш цікавих сфер застосування 3D-графіки є її використання при створенні комп'ютерних ігор. 3D-дизайнер може створити практично що завгодно: від детальних персонажів і тривимірної «реальності» до анімаційних заставок і відеофрагментів.

Сьогодні поширеними прийомами в комп'ютерних іграх стало використання панорамної технології, тривимірної графіки реального часу (тобто графіки, яка візуалізується не в процесі створення гри, а відразу на комп'ютері користувача у вигляді зображення або анімації), а також інструменти, які дозволяють в короткі терміни змінювати навколишнє оточення, створювати високу швидкість пересування персонажів і швидкість їх реагування.

**3D графіка в кіноіндустрії.** Зачаровуючись подіями фільмів людина так залучена в те, що відбувається, що вірить всьому, забуваючи про спецефекти, що дають "життя" картині. Але багато сцен, перш ніж стати справжнім шедевром, проходять довгий шлях і спочатку виглядають зовсім не так як на виході. З появою комп'ютерної графіки відбулася революція в кінематографічному мистецтві, був здійснений найбільший справжній прорив в області спецефектів.

Створення комп'ютерної графіки в фільмах - колосальна робота, над якою працюють сотні професіоналів. Від сценаристів і режисерів до цілої армії 3D-художників: вони займаються моделюванням, текстуруванням, анімацією і візуалізацією персонажів і віртуального світу. За допомогою тривимірної графіки можна замінити реального актора його комп'ютерним прототипом. Крім того, за допомогою графіки можна відтворити на екрані неіснуючі в реальності декорації і цим неабияк заощадити бюджет картини. Так же графіка може замінити собою реальних каскадерів, які теж обходяться досить дорого та виправити зіпсований кадр, Відкоригувати цілу сцену, без необхідності перезнімати її заново.

**Програмне забезпечення для рендерингу.** Існує більше півтисячі різних програм для візуалі-

зації. Одні з них вбудовані в пакети 3D моделювання, інші поставляються як окремі продукти, одні можуть виконувати величезну кількість завдань, інші створені для специфічних цілей. Крім того, існує певна кількість безкоштовних рендерів, створених ентузіастами [9].

Існує два метода рендерингу: *biased rendering* та *unbiased rendering*.

*Biased* означає що є повний контроль над процесом рендерингу. Можливо контролювати як рендер «сприймає» сцену, наскільки точно прораховує світло, тіні, глобальне освітлення та інші ефекти, такі як блиск, відображення, заломлення і тд. Іншими словами, *Biased* означає «обмежений», «прив'язаний». Тобто встановлюються ці обмеження.

*Unbiased* працює з точністю навпаки. Він не розрахований ні на що інше, крім абсолютно фізично коректних обчислень, прив'язаних до реальних фізичним одиницям і законам, котрі дають ніякого контролю над процесом своєї роботи.

*Unbiased* рендер обраховує абсолютно всі дані, навіть важко помітні маленькі нюанси і деталі, які, однак, можуть привнести серйозні відмінності в фінальне зображення.

Рендери *unbiased* та *biased* технічно поділяються на рендери CPU — рендери, які для обчислення використовують тільки центральний процесор та рендери GPU— рендери, які для обчислення використовують тільки графічний процесор— відеокарту.

Одним із шляхів вирішення проблеми тривалості роботи *unbiased* рендерів є використання для розрахунків графічних карт (GPU). Інший шлях - поява гібридних рендерів, таких як *Thea* рендер, які суміщають обидва підходи.

Найбільш популярні рендери:

*Biased* рендери CPU: *VRay*; *Renderman*; *Mental ray*; *Mantra* (йде разом з *Houdini*, є режим *unbiased*).

*Biased* рендери GPU *Redshift*: *VRayRT* (може і процесор задіяти тобто GPU + CPU).

*Unbiased* рендери CPU: *Maxwell Render*; *Arnold*; *Indigo*; *Fryrender*; *Lux Render*; *iRay* (GPU + CPU); *Cycles Render* (GPU + CPU).

*Unbiased* рендери GPU: *Indigo RT*; *Arion render*; *Small Lux GPU*; *Octane Render*.

Гібридні *biased + unbiased* рендери: *Corona Render* (CPU); *Thea* (CPU); *Thea Presto*.

Пакети тривимірного моделювання, що мають власні рендери:

*Blender* - пакет для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає в себе засоби моделювання, анімації, рендерингу, постобробки відео, а також створення інтерактивних ігор (є свій ігровий движок *BGE*) [10]. Особливостями пакету є малий розмір, висока швидкість рендерингу, наявність версій для безлічі операційних систем. Великий вибір зовнішніх візуалізаторів. Пакет має такі функції, як

динаміка твердих тіл, рідин і м'яких тіл, систему гарячих клавіш, велику кількість легко доступних розширень, написаних на мові Python. Blender найкращий серед безкоштовних 3D програм с постійно зростаючою популярністю.

3 DS Max - повнофункціональна професійна програмна система для роботи з тривимірною графікою, розроблена компанією Autodesk. Працює в операційних системах Microsoft Windows і Windows NT (як в 32-бітових, так і в 64-бітних) [11]. Вже незабаром виходить дев'ятнадцята версія цього продукту під назвою «Autodesk 3ds Max 2017». Програма 3ds max характеризується продуманим інтерфейсом і відносною легкістю в освоєнні. Цим можна пояснити її велику популярність. Багатий інструментарій дає розробникові тривимірної графіки можливість реалізувати в програмі будь-яку задумку [12].

SoftImage XSI - це 3D анімаційне програмне забезпечення застосовується при розробці ігор, створенні фільмів і телевізійних програм. В арсеналі SOFTIMAGE XSI є повний набір інструментів для 3D моделювання, анімації і рендеринга. Базована на новій, надзвичайно гнучкій архітектурі, XSI забезпечує 3D професіоналів безпрецедентною потужністю і гнучкістю для реалізації найнеймовірніших творчих задумок [13].

Ще кілька програм, що мають власні рендери: Newtek Lightwave; Maya; Realsoft 3D; Sketch Up; CINEMA 4D; Zbrush; Terragen; Daz3D Bryce; e-on Software Vue; Luxology Modo; Maxon Cinema 4D (Advanced Render); SideFX Houdini; та ін.

## Висновки

Провівши аналіз можна зробити висновки що тривимірна графіка аж ніяк не новинка, в даний час вже цілком сформувалася як наука. Вона давно і дуже успішно використовується для зображення об'ємних предметів і явищ. Сучасний світ вже не може обходитися без тривимірної графіки. Вона рухається і розвивається дуже швидко і стрімко.

Також було виявлена основна вимога до візуалізації яка є отримання максимально фотореалістичної картинки з мінімальними витратами ресурсів комп'ютера і часу на обробку сцени.

## Список літератури

1. Сайт *Vspu.net*. Об'ємне комп'ютерне моделювання 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://ito.vspu.net/ENK/2011-2012/TIMTPN/rob\\_stud\\_2012/2013/Nikitin/page-10.html](http://ito.vspu.net/ENK/2011-2012/TIMTPN/rob_stud_2012/2013/Nikitin/page-10.html).
2. Сайт *Gdtyry.blogspot.com*. Тривимірна графіка [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://gdtyry.blogspot.com/p/3d-3-dimensions.html>.
3. Цікаво про 3D [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://novipetrivtsi-school3.edukit.kiev.ua/piznayemo\\_svii/cikavo\\_pro\\_3d](http://novipetrivtsi-school3.edukit.kiev.ua/piznayemo_svii/cikavo_pro_3d).
4. Що таке рендеринг? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://vidpo.net/shho-take-rendering.html>.
5. Sloan, P.; Kautz, J.; Snyder, J. (2002). *Precomputed Radiance Transfer for Real-Time Rendering in Dynamic, Low Frequency Lighting Environments Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2002)* 29. – С. 527-536.
6. Immel, David S.; Cohen, Michael F.; Greenberg, Donald P. (1986). *A radiosity method for non-diffuse environments. Siggraph 1986*: 133.
7. Kajiya, James T. (1986). *The rendering equation. Siggraph 1986*: 143.
8. Калютов, А.В. *Введение в фотореалистическую графику / А.В. Калютов*. – СПб.: Политехника, 2015. – 118 с.
9. *Основи рендеринга [Електронний ресурс]*. – Режим доступу до ресурсу: <http://easy-code.com.ua/2010/11/osnovi-renderinga>.
10. Прохов А.А. *Blender: 3D-моделирование и анимация. Руководство для начинающих / А.А. Прохов*. – СПб.: БХВ – Петербург, 2009. – 272 с.
11. *3DSMAX [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>.
12. Петров М.Н. *Самоучитель CorelDraw 12 / М.Н. Петров*. – СПб.: Питер, 2005. – 607 с.
13. *XSI.SOFTIMAGE 7.0 [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://xpowerer.at.ua/load/8-1-0-28>.

Надійшла до редколегії 26.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

И.В. Ильина, А.В. Бижко

*В статье проведен анализ основных понятий и сущности трехмерной графики и визуализации. Показано использование трехмерной графики в различных сферах деятельности человека. Рассмотрено программное обеспечение для визуализации.*

**Ключевые слова:** трехмерная графика, визуализация, программное обеспечение.

## THE ANALYSIS OF FEATURES OF IMAGING THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

I.V. Ilyina, O.V. Bizhko

*The article analyzes the basic concepts and the essence of the three-dimensional graphics and rendering. It is displayed the use of three-dimensional graphics in various spheres of human activity. It is considered software for rendering.*

**Keywords:** three-dimensional graphics, rendering, software.

УДК 004.41:004.056

А.В. Коваленко

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В данной работе задача управления рисками разработки программного обеспечения при условии ограниченности средств (финансовых, технических и др.) выделенных на устранение ошибок безопасности, рассматривается в виде полумарковской модели принятия решений для управляемого процесса в непрерывном времени с критерием минимума расходов на устранение аномалий. Разработан метод управления рисками разработки программного обеспечения, отличающийся от известных использованием псевдобулевых методов бивалентного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями для определения оптимальной стратегии устранения эксплуатационных ошибок. В качестве примера рассмотрены ситуации возникновения ошибок безопасности программного обеспечения, и определена оптимальная стратегия управления для устранения указанной аномальной ситуации.

**Ключевые слова:** управление рисками, разработка программного обеспечения, псевдобулевые методы бивалентного программирования.

### Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы

Проведенные исследования, а также анализ литературы [1 – 9] показали, что управление риском разработки программного обеспечения (ПО) состоит в заблаговременном выявлении связанных с риском финансовых, технических, психологических, и др. опасностей, и принятии мер по снижению риска путем целенаправленного изменения этих факторов с учетом эффективности принимаемых мер. Управление риском разработки ПО включает систему мероприятий, осуществляемых как до проявления негативного события, так и после его реализации. Однако, как показали исследования, превентивный анализ и учет большинства возможных эксплуатационных ошибок позволит снизить финансовые и др. затраты в жизненном цикле разработки ПО.

Ряд авторов [1-11, 16-20] под термином "управление риском" понимают разработку и обоснование оптимальных программ деятельности, призванных эффективно реализовать решения в области обеспечения безопасности. При этом главным элементом такой деятельности является процесс оптимального распределения ограниченных ресурсов с учетом характерных эксплуатационных, экономических и социальных факторов. Рассматриваемую задачу управления рисками разработки ПО при определенных ограничениях на мероприятия по тестированию качества и безопасности, сформулируем в виде полумарковской модели принятия решений для управляемого марковского процесса в непрерывном времени и дисконтированными доходами (с коэффициентом  $0 < \alpha < 1$  в нормальных условиях процесса создания ПО) или расходами (в условиях с отклонениями от плана, связанными с пренебрежением невыявления

уязвимостей (ошибок) безопасности). При этом данный вид эксплуатационных рисков отождествляются с последовательно соединенными независимыми элементами, восстанавливаемыми за конечное время.

Оптимальную нерандомизированную стационарную стратегию управления определим с помощью псевдобулевых методов бивалентного программирования, находя все решения системы ограничений. Эти решения определяются на основе алгоритма пересечения решений отдельных неравенств-ограничений, предложенного в работах [12-15] для нахождения базисных решений системы линейных неравенств с булевыми переменными. В таких условиях сформулируем основную задачу. Пусть каждому состоянию  $i \in S$ ,  $S = \{0, 1, \dots, N\}$  рассматриваемой системы управления рисками разработки ПО поставлено в соответствие конечное множество  $R_i$  решений, элементы которого обозначим как  $r = 1, 2, \dots, r_i$ . Если система находится в состоянии  $i \in S$  и принимается решение  $r = R_i$ , то ее дальнейшее поведение определяется вероятностным законом:

$$Y_{ij}^r(t) = P_{ij}^{(r)} F_{ij}^{(r)}(t), \quad j \in S, \quad (1)$$

где вероятность перехода системы из состояния в состояние  $i - P_{ij}^{(r)}$ , а  $F_{ij}^{(r)}(t)$  – функция распределения времени пребывания системы в состоянии  $i$  при принятии решения  $r$  и при условии, что следующий переход произойдет в состояние  $j$ .

При этом сделаем допущение, что выполнены следующие условия:

Состояние  $i = 0$  соответствует нормальному процессу разработки ПО, а  $i \neq 0$  – ситуация ошибки безопасности.

Функции  $F_{0j}^{(r)}(t)$  и  $F_{j0}^{(r)}(t)$ ,  $j \in \tilde{S} = S \setminus \{0\}$ ,  $r \in R_j$ , вместе со своими первыми производными непрерывны при  $t > 0$ , за исключением конечного числа точек, и возрастают в соответствии с экспоненциальным законом распределения.

За единицу времени пребывания в состоянии  $i$  в случае принятия решения  $r$  тратится в среднем  $k_i^{(r)}$  средств (при  $i \neq 0$  число  $k_i^{(r)}$  отрицательно и равно издержкам системы за единицу времени пребывания в состоянии  $i$  при условии выхода из этого состояния с учетом решения  $r$ ).

Величины  $|k_i^{(r)}|$  ограничены при всех  $i \in S$ ,  $r \in R_i$ , а вероятности  $P_i^{(r)}$  удовлетворяют соотношениям:

$$\sum_{j \in S} P_{ij}^{(r)} = 1, \quad P_{ij}^{(r)} \geq 0, \quad i, j \in S, \quad r \in R_i.$$

Таким образом, в каждом состоянии  $i \in S$  существует  $r_i$  решений из конечного множества  $R_i$ . Выбор некоторого решения  $r$  из этого множества  $R_i$  в состоянии  $i \in S$  означает задание величин  $Y_{ij}^r(t)$ ,  $P_{ij}^{(r)}$ ,  $F_{ij}^{(r)}(t)$ ,  $k_i^{(r)}$ ,  $j \in S$ .

При  $i = 0$ ,  $R_0 = \{0\}$ ,  $P_{0j}^{(r)} \neq 0$ ,  $j \in S$  является вероятностью перехода в состояние  $j$ . Вероятность  $P_{0j}^{(r)} \neq 0$ ,  $j \in S$  вычисляется на практике как доля состояний с ошибками безопасности типа  $j$  в общей совокупности уязвимостей безопасности различных типов на основе данных предысторий процесса разработки ПО. Тогда  $F_{0j}^{(r)}(t)$  – функция распределения времени тестовой эксплуатации ПО между выявленными ошибками безопасности типа  $j$ .

При  $i = \overline{1, N}$   $\forall r \in R_i$ ,  $P_{i0}^{(r)} = 1$ ,  $P_{ij}^{(r)} = 0$ ,  $j \neq 0$ , функция  $F_{i0}^{(r)}(t)$  – функция распределения времени устранения уязвимостей безопасности с использованием решения  $r$  при ошибке типа  $j$ .

При условии непрерывности во времени исследуемого процесса будем пользоваться переоценкой экспоненциального вида с нормой  $\alpha$ , то есть если в некоторый момент времени затраты составляют какую-то единичную величину, то через время  $t$  эти затраты уже будут  $e^{-\alpha t}$  единичных величин. Тогда если  $k_i$  – расход за единицу времени, то суммарный расход за время  $t$  имеет вид:

$$\int_0^t k_i e^{-\alpha \tau} d\tau = \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}). \quad (2)$$

Обозначим  $i_n$  состояние системы после  $n$ -го перехода,  $u_n$  – принятое решение, а  $\tau_n$  – время пребывания в этом состоянии ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ),  $i_0$  – начальное состояние. Допустимую стратегию  $\beta$  для системы управления разработкой ПО определим как последовательность  $\{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots\}$ , где  $\beta_n(\bullet / z_n)$  – вероятностная мера, сосредоточенная на функции ограничения  $U(S)$  на принятые решения (управления), определяемые системой неравенств:

$$\sum_{j \in S} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, \quad r \in R = \bigcup_{j \in S} R_j, \quad (3)$$

и зависящая от истории управляемой системы к моменту  $z_n = (i_0, u_0, \tau_0, \dots, i_{n-1}, u_{n-1}, \tau_{n-1}, i_n)$  –  $n$ -го перехода. Мера  $\beta_n(\bullet / z_n)$  задает рандомизированное правило выбора решения  $u_n$  на основе информации  $z_n$ . Такую стратегию  $\beta$  можно назвать рандомизированной.

Стратегия  $\beta$  является марковской, если  $\beta_n(\bullet / z_n) = \beta_n(\bullet / i_n)$ , где  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Марковская стратегия называется стационарной, если  $\beta_n(\bullet / i_n) = \beta_n(\bullet / i_0)$ . Плотность меры такой стратегии при  $i_n = i$ ,  $u_n = r$ , ( $r \in R_i$ ) обозначим  $d_i^{(r)}$ . Если стратегия  $\beta$  – марковская стационарная, то управляемый процесс является полумарковским.

Анализ литературы показал, что наиболее популярная информация о полумарковских процессах и управляемых полумарковских моделях с дополнительными расходами и дивидендами изложена в работах [12-15].

Обозначим через  $g_i(t, \alpha, \beta)$  суммарный расход системы, управляемой в соответствии со стратегией  $\beta$ , с нормой переоценки  $\alpha$ , за время  $t$  жизненного цикла разработки ПО. Обязательным условием является то, что процесс начинается в момент  $t = 0$  из состояния  $i$ . Через  $v_i(t, \alpha, \beta) = g_i(t, \alpha, \beta) / t$  обозначим суммарный средний расход системы за время  $t$  при тех же условиях.

Пусть  $c_{rj}$  – затраты, связанные с реализацией мероприятия  $r$  в случае события нарушения безопасности ПО  $j$  и  $x_{rj}$  – булева переменная:  $x_{rj} = 1$ , если  $r$  применяется при событии  $j$ ,  $x_{rj} = 0$  в противном случае.

Предположим, что общий объем средств, отпущенных для устранения недостатков безопасности ПО (мероприятия типа  $r$ ) ограничен константой  $b_r$ , т.е. выполняется неравенство (3).

Если затраты  $c_{rj}$  позволяют выполнить каждое из ограничений (3), то реализованная на основании

(3) система определяет в пространстве  $\mathfrak{R}^d$ ,  $d = \dim R$ , некоторое конечное множество дискретных точек. Тогда в соответствии с работами [12-15] существует нерандомизированная стационарная стратегия  $\beta^*$ , называемая  $\beta$  – оптимальной, которая минимизирует суммарный средний расход  $v(\alpha, \beta)$  при произвольной стратегии  $\beta$  и норме переоценки  $\alpha$  ( $\alpha > 0$ ). При этом  $v(\alpha, \beta)$  –  $(N+1) \times 1$ -мерный вектор  $(v_0(\alpha, \beta), v_1(\alpha, \beta), \dots, v_N(\alpha, \beta))$ , где

$$v_i(\alpha, \beta) = \lim_{t \rightarrow \infty} v_i(t, \alpha, \beta), i \in S. \quad (4)$$

Необходимо найти  $\alpha$  – оптимальную нерандомизированную марковскую стационарную стратегию  $\beta^*$ , которая минимизирует суммарный средний расход  $v(\alpha, \beta)$  при произвольном начальном распределении процесса:

$$y = (y_0, y_1, \dots, y_N), \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} y = 1, y \geq 0, i \in S. \quad (6)$$

Не уменьшая общности, в качестве начального распределения возьмем вектор  $y = (1, 0, \dots, 0)$ , т.е. начальное состояние системы. На основе полумарковской модели принятия решений данную задачу приведем к эквивалентной задаче бивалентного программирования с использованием псевдобулевых методов.

### 1. Оптимизационная стратегия полумарковской модели принятия решений

Вероятности переходов рассматриваемого, для системы разработки ПО, полумарковского процесса принятия решений в моменты скачков из состояния  $i$  в состояние  $j$  при принятии решения  $r \in R_i$  определяется стохастической  $(N+1) \times (N+1)$  матрицей  $P^{(r)} = \{p_{ij}^{(r)}\}$ , которая задает вложенную цепь Маркова. Элементы  $p_{ij}^{(r)} \forall i, j \in S$  и  $r \in R_i$  позволяют определять по формуле (1) совместную вероятность  $Q_{ij}^{(r)}(t)$  того, что длительность пребывания в состоянии  $i$  не превосходит время  $t$  из состояния  $i$  при  $r \in R_i$  процесс переходит в состояние  $j$  с вероятностью  $p_{ij}^{(r)}$ . Функции  $Q_{ij}^{(r)}(t)$  в (1) удовлетворяют условиям:

$$Q_{ij}^{(r)}(0) = 0, i, j \in S, r \in R_i, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(\infty) = \sum_{j \in S} p_{ij}^{(r)} = 1, i \in S, r \in R_i. \quad (8)$$

С помощью матрицы  $Q_{ij}^{(r)}(t) = \{Q_{ij}^{(r)}(t)\}$  переходных распределений, определим функцию:

$$H_i^{(r)}(t) = \sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(t), i \in S, r \in R_i, \quad (9)$$

являющуюся функцией распределения времени пребывания процесса в состоянии  $i$  при принятии решения  $r \in R_i$ . Случайный процесс  $(Z_t), t \geq 0$  со значениями  $Z_t = i$ , если в момент  $t$  система находится в состоянии  $i$ , является полумарковским, и задается величинами  $N, y, Q_{ij}^{(r)}(t), i, j \in S, r \in R_i$ .

Полумарковский процесс называется регулярным, если за конечный промежуток времени он с вероятностью  $p_p = 1$  перейдет в любое состояние не более конечного числа раз. Таким образом, регулярный полумарковский процесс за конечный промежуток времени всегда совершает лишь конечное число переходов. Далее в разделе будем рассматривать только регулярные полумарковские процессы.

В случае одноэлементных множеств решений  $R_i$  в результате стандартных для теории восстановления [12-15] рассуждений получаем следующее уравнение восстановления

$$v_i(t) = (1 - H_i(t)) \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \int_0^t \left( \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) \right) dQ_{ij}(\tau), i \in S,$$

где  $v_i(t)$  – краткая запись суммарного среднего расхода  $v_i(t, \alpha, \beta)$  за время  $t$ .

В случае конечных множеств  $R_i$  уравнение восстановления с учетом вероятностей  $d_i^{(r)}$  принятия решений  $r$  в состоянии  $i$  запишем в виде:

$$v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^r \left( 1 - H_i^{(r)}(t) \right) \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \sum_{r \in R_i} \int_0^t d_i^r \left( \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) \right) dQ_{ij}^{(r)}(\tau), i \in S, \quad (10)$$

где  $k_i^{(r)}$  – расход системы за единицу времени пребывания в состоянии  $i$  при решении  $r \in R_i$ ;  $v_j(t)$  – суммарный средний расход с учетом переоценки (2), при условии, что процесс начинается в момент  $t = 0$  из состояния  $j$ .

Величины  $v_i(\alpha, \beta)$  из (4) можно записать в виде  $v_i(\alpha)$ , и для этого уравнения воспользоваться основными положениями уравнения (интеграла) Лапласа-Стилтьеса. В соответствии с [12-15] для лю-

бой функции  $F(t)$ , производная  $F'(t)$  которой является функцией-оригиналом, удовлетворяющей неравенству  $F'(t) < Ce^{\alpha t}$  для всех  $t < 0$ , при всех комплексных  $s$ , когда  $\text{Re } s > \alpha$  существует функция:

$$F^*(s) = L_s^* \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} dF(t), \quad (11)$$

то есть функция  $e^{-st}$  при  $\text{Re } s > \alpha$  интегрируема по функции  $F(t)$ . Функцию  $F^*(s)$  называют преобразование Лапласа-Стилтьеса функции  $F(t)$ .

Из выражений 8 и 9 следует, что  $H_i^{(r)}(\infty) = 1, i \in S, r \in R_i$ , поэтому первая сумма в выражении 10 при  $t \rightarrow \infty$  обращается в нуль. Интегрируя по частям (11) для  $L_s^* \langle F(t) \rangle$ , получаем:

$$sL_s^* \langle F(t) \rangle = L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0), \quad (12)$$

где 
$$F(s) = L_s \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} F(t) dt -$$

преобразование Лапласа функции  $F(t)$ .

Из (12) при  $s \neq 0$  находим

$$L_s \langle F(t) \rangle = \frac{1}{s} (L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0)). \quad (13)$$

Интегрируем по частям с учетом (9) находим

$$\sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = (1 - e^{-\alpha t}) \sum_j dQ_{ij}^{(r)}(\tau) \Big|_0^t - \sum_j \alpha \int_0^t e^{-\alpha t} H_i(\tau) dt. \quad (14)$$

Проводя преобразования, переходя в выражении 14 к пределу  $t \rightarrow \infty$  и применяя формулу (13) для  $s = \alpha, (\alpha > 0)$ , с учетом (7) и (8) получим:

$$\sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = (1 - \alpha) L_{s=\alpha} \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = 1 - \alpha \frac{1}{\alpha} L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = 1 - h_i^{(r)}(\alpha),$$

где 
$$h_i^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(t) \rangle.$$

Применяя к функции:

$$\Phi_i^{(r)}(t) = \int_0^t e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) dQ_{ij}^{(r)}(\tau)$$

теорему о предельном переходе в интеграле по параметру, от которого зависят пределы интегрирования и подынтегральная функция [12-15], при  $t \rightarrow \infty$ :

$$\Phi_i^{(r)}(\infty) = \int_0^\infty e^{-\alpha t} v_j(\alpha) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = v_j(\alpha) q_{ij}^{(r)}(\alpha), \quad (16)$$

где 
$$q_{ij}^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle Q_{ij}^{(r)}(\alpha) \rangle.$$

Переходя в выражении 10 к пределу при  $t \rightarrow \infty$ , с учетом 15 и 16 получаем следующее аналитическое выражение:

$$v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} \left( \zeta_i^{(r)}(\alpha) \right) + \sum_{j \in S} q_{ij}^{(r)}(\alpha) v_j(\alpha), \quad (17)$$

где 
$$\zeta_i^{(r)}(\alpha) = \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - h_i^{(r)}(\alpha)). \quad (18)$$

Пусть 
$$\zeta_i(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^r \left( \rho_i^{(r)}(\alpha) \right) \quad \text{и}$$

$$\mathfrak{Z}(\alpha) = (\zeta_0(\alpha), \dots, \zeta_N(\alpha))^T, \quad \wp(\alpha) = (v_0(\alpha), \dots, v_N(\alpha))^T,$$

( $T$  – символ транспонирования матрицы). Тогда:

$$\wp(\alpha) = \mathfrak{Z}_0(\alpha) + q(\alpha) \wp(\alpha) \quad (19)$$

где  $q(\alpha) = \{q_{ij}(\alpha)\}, \quad q_{ij}(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} \left( q_{ij}^{(r)}(\alpha) \right).$

Из выражения (19) найдем:

$$\wp(\alpha) = \{I - q(\alpha)\}^{-1} \mathfrak{Z}_0(\alpha) \quad (20)$$

Данное выражение справедливо, так как при  $\alpha > 0$  матрица  $\{I - q(\alpha)\}$  – невырожденная,  $I$  – единичная матрица размера  $(N \times 1) \times (N \times 1)$ .

Умножив обе части равенства 19 слева на вектор  $u$ , получим следующее:

$$u \wp(\alpha) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha) \zeta_j^{(r)}(\alpha) d_i^{(r)},$$

$$\{I - q(\alpha)\}^{-1} = \{\mu_{ij}(\alpha)\}. \quad (21)$$

Величины  $\mu_{ij}(\alpha)$  зависят от  $d_i^{(r)}, r \in R_i, i \in S$ , так как элементы матрицы  $\{I - q(\alpha)\}$  можно выразить через  $d_i^{(r)}, r \in R_i, i \in S$ .

Пусть  $\{d_i^{(r)}\} (r \in R_i)$  – нерандомизированная марковская стационарная стратегия системы разработки ПО в состоянии  $j$ .

$$d_j^{(r)} \in \{0, 1\}, \quad \sum_{j \in S} d_j^{(r)} = 1 \quad \text{и} \quad x_{00} = 1, \quad x_{rj} = d_j^{(r)},$$

$r \in R_i, j \in \tilde{S}$ . Минимизация расходов (выражение (21)) приводит к следующей задаче оптимизации для булевых переменных  $X = \{x_{rj}\}, r \in R_i, j \in \tilde{S}$ :

$$f(\alpha, X) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha, X) \zeta_j^{(r)} x_{rj} \rightarrow \min, \quad (22)$$

$$\sum_{r \in R_i} x_{rj} = 1, \quad j \in \tilde{S}, \quad (23)$$

$$\sum_{j \in \tilde{S}} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, \quad r \in R_i, \quad j \in \tilde{S}, \quad (24)$$

$$x_{rj} \in \{0, 1\}, \quad j \in \tilde{S}, \quad r \in R_i. \quad (25)$$

## 2. Построение оптимальной нерандомизированной марковской стационарной стратегии

Обозначим систему (24), (25) как система С. Она является системой псевдобулевых неравенств.

Подключив далее дополнительное условие (23) можно обозначить систему как  $\tilde{C}$ , а через  $X_r^{(k)} = \{x_{r1}^{(k)}, \dots, x_{rN}^{(k)}\}$ ,  $k=1, \dots, k_r$  – допустимые решения  $r$ -го неравенства системы С.

Для построения решений системы  $\tilde{C}$  при известных допустимых решениях каждого неравенства (24) применим следующий подход. Решения системы  $\tilde{C}$  находятся как  $Z = \{s_j\}$ ,  $j=1, \dots, N$ , где  $s_j$  – множество номеров  $r$ , для которых допустимо равенство  $x_{rj} = 1$ . Решения находятся за  $m$  шагов, где  $m$  – число ограничений 24. В исходном состоянии каждое из множеств  $s_j^{(0)}$  вектора  $Z^{(0)}$  включает все возможные значения  $r \in R_i$ . На  $r$ -м шаге происходит пересечение вектора  $Z^{(r-1)}$  с одним из решений  $r$ -го неравенства. Допуская, что  $r$ -му неравенству соответствует  $r = r_1$ , а также, что  $\alpha_j$  является  $j$ -м элементом допустимого решения данного неравенства,  $\alpha_j \in \{0, 1, \phi\}$ , где  $\phi$  – неопределенный булев параметр, называемый в дальнейшем почерком, можно сформулировать такие правила для  $r$ -го шага алгоритма построения решений системы  $\tilde{C}$ .

1. Если  $\alpha_j$  не фиксировано, то  $s_j^{(r)} = s_j^{(r-1)}$ .
2. Если  $\alpha_j = 1$ , то при  $r_1 \in s^{(r-1)}$  допускаем  $s^{(r)} = \{r_1\}$ , а при  $r_1 \notin s^{(r-1)}$  допускаем  $s^{(r)}$  равно пустому множеству.
3. Если  $\alpha_j = 0$  то  $s^{(r)} = s^{(r-1)} / \{r_1\}$ .

При этом пересечение семейств решений осуществляется с учетом дополнительных ограничений (23).

На  $m$ -м шаге алгоритма получается вектор  $Z^{(m)} = \{\alpha_1^{(m)}, \dots, \alpha_N^{(m)}\}$ , каждая компонента  $\alpha_j^{(m)}$ , которого является одноэлементным множеством  $\{r\}$ ,  $r \in R$ ,  $R = \{1, \dots, m\}$  и следовательно,  $Z^{(m)}$  есть решение системы  $\tilde{C}$ . Исключение составляют случаи, когда  $\tilde{C}$  представляет собой некоторый набор чисел  $r$  из множества  $R$ . В этом случае с помощью сочетания элементов многозначных компонент из вектора  $Z^{(m)}$  можно получить несколько решений системы  $\tilde{C}$ . Затем в результате находим совокупность всех решений системы  $\tilde{C}$ , из которых выбираем оптимальное решение, доставляющее минимум целевой функции

$f(\alpha, X)$ . Численная реализация изложенного метода управления рисками безопасности индустрии программного обеспечения для полумарковской модели принятия решений при аномальных ситуациях безопасности представлена в следующем примере.

## 3. Рекомендации по использованию метода управления рисками разработки программного обеспечения

Рассмотрим две возможные ситуации ошибок безопасности ПО:

- ситуация 1 – наличие функциональных ошибок ПО (функциональные возможности ПО, не описанные или не соответствующие описанным в документации, при использовании которых возможно нарушение конфиденциальности, доступности или целостности обрабатываемой информации);
- ситуация 2 – наличие нефункциональных ошибок ПО (избыточные ФО и ИО, переполнение буфера, утечки памяти, ошибки типов данных, ошибки указателей и др.).

Альтернативные мероприятия (упрощенно) в случае первой аномальной ситуации следующие:

- отзыв ПО (для устранения ошибок);
- декомпозиция программы и оценка метрик сложности;
- сигнатурный анализ.

В случае наличия нефункциональных ошибок ПО альтернативные мероприятия следующие:

- отзыв ПО (для устранения ошибок);
- анализ указателей, зависимостей по данным и интервальный анализ.

Предположим, что в обеих ситуациях первое мероприятие (отзыв ПО) осуществляется за одно и то же время  $T = 1$  у.е. Поэтому, учитывая малую стоимость соответствующих функций тестирования по сравнению с убытками при простое ПО, можно считать первые мероприятия в обоих случаях одинаковыми по затратам. Представим мероприятия в случае первой аномальной ситуации в виде  $R = \{r_1; r_2; r_3\}$ , а мероприятия для устранения второй –  $R = \{r_1; r_4\}$ . Тогда число элементов системы  $N = 2$ , а общее число различных мероприятий для их устранения  $m = 4$ .

Также представим описанные аномальные ситуации  $j$  по отношению с отдельными модулями и блоками ПО как последовательные соединения (по надежности). Ошибки (отказы) и их устранение не влияют на надежность других модулей и элементов ПО. Время устранения ошибки не зависит от того, выявляются ли другие ошибки в оставшихся модулях. Другими словами, каждая ошибка выявляется и устраняется независимо друг от друга. В этом случае поток ошибок и, устраняющих их, мероприятий есть сумма  $N$  независимых процессов устранения с конечным временем восстановления.

Обозначим через  $F_j(t)$  функцию распределения времени эксплуатации системы между двумя последовательными аномальными ситуациями типа  $j$ , а через  $G_j^{(k)}(t)$  – функцию распределения времени устранения ошибки после аномальной ситуации типа  $j$  при принятии решения  $g$ . Будем полагать, что  $F_j(t)$  и  $G_j^{(k)}(t)$  подчиняются экспоненциальным законам с функциями интенсивности соответственно  $\lambda_j$  и  $\mu_j^{(k)}$ :

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda_j t}, \quad G_j^{(k)}(t) = 1 - e^{-\mu_j^{(k)} t}, \quad (26)$$

где  $\lambda_j = 1/T_{j1}$ ;  $\mu_j^{(r)} = 1/T_{j2}$ ;  $T_{j1}$  – среднее время эксплуатационного этапа жизненного цикла разработки ПО между двумя аномальными ситуациями типа  $j$ ;  $T_{j2}$  – среднее время восстановительного этапа жизненного цикла разработки ПО после выявления ошибки типа  $j$  при решении  $g$ . Пусть  $d_i^{(k)}$  – нерандомизированная стационарная стратегия системы в состоянии  $i$  ( $i \in S$ ) при решении  $k$  (т.е. вероятность принятия решения  $g$  в состоянии  $i$ ),

$$d_i^{(r)} \in \{0,1\}, \quad \sum_{k \in K} d_i^{(k)} \in 1, \quad i \in S. \quad (27)$$

Тогда закон распределения эксплуатации и закон распределения устранения ошибок в целом запишем в виде

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad G_j^{(r)}(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

где  $\lambda = \sum_{j=1}^N \lambda_j$ ;  $\mu = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N d_j^{(r)} \mu_j^{(r)}$ .

Пусть

$$\begin{aligned} T_{11} = 8 \text{ у.е.}, \quad T_{21} = 8 \text{ у.е.}, \quad T_{12}^{(1)} = T_{22}^{(1)} = 1 \text{ у.е.}, \\ T_{12}^{(2)} = 2 \text{ у.е.}, \quad T_{12}^{(3)} = 1 \text{ у.е.}, \quad T_{22}^{(4)} = 0,5 \text{ у.е.} \end{aligned} \quad (28)$$

Предположим, что  $i = 0$  фиксирует нормальное состояние,  $i = 1$  аномальное состояние (ситуация 1),  $i = 2$  аномальное состояние (ситуация 2);  $S = \{0,1,2\}$ ,  $\tilde{S} = \{1,2\}$ . В соответствии с условием (28) и учитывая выражения (25)-(27) получим:

$$F_0(t) = F(t) = 1 - e^{-0,25t}, \quad F_j(t) = 1 - e^{-0,125t}, \quad j = 1,2;$$

$$G_1^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, \quad G_1^{(2)}(t) = 1 - e^{-0,5t},$$

$$G_1^{(3)}(t) = 1 - e^{-t}, \quad G_2^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, \quad G_2^{(4)}(t) = 1 - e^{-2t}.$$

Пусть издержки от невыполнения своих функций программной системы в течении времени  $T = 1$  ч составят 70000 у.е. Обозначим через  $c_{k,j}$  затраты на мероприятие  $k$  в случае аномальной ситуации  $j$ . Тогда, пренебрегая затратами на тестирование в мероприятии

$g = 1$ , получаем  $c_{1,1} = c_{1,2} = c_1 = 70000$  у.е. Пусть далее  $c_{2,1} = 300$ ,  $c_{3,1} = 400$ ,  $c_{4,2} = 600$  у.е. Будем считать, что в состоянии  $i = 0$  принято единственное решение ( $g = 0$ ) – продолжить нормальное функционирование, и в этом состоянии задано такое распределение вероятностей:

$$p_{00}^{(0)} = 0,7, \quad p_{01}^{(0)} = 0,1, \quad p_{02}^{(0)} = 0,2. \quad (29)$$

Функции (1) и (9) запишем как:

$$Q_{00}^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}), \quad Q_{01}^{(0)}(t) = 0,1(1 - e^{-0,125t});$$

$$Q_{02}^{(0)}(t) = 0,2(1 - e^{-0,125t}), \quad Q_{10}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}),$$

$$Q_{10}^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}), \quad (k = 1,2,3),$$

$$Q_{10}^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad Q_{11}^{(k)}(t) = Q_{12}^{(k)}(t) = 0,$$

$$Q_{20}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad Q_{20}^{(4)}(t) = (1 - e^{-2t});$$

$$H_0^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}) + 0,3(1 - e^{-0,125t}),$$

$$H_1^{(0)}(t) = (1 - e^{-0,25t}), \quad H_1^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}),$$

$$H_1^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}),$$

$$H_2^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), \quad H_2^{(4)}(t) = (1 - e^{-2t}).$$

С учетом обозначений:

$$x_{00} = 1, \quad x_{k,j} = d_j^{(k)}, \quad g \in R_j, \quad j \in \tilde{S},$$

матрица  $q(\alpha, x) = [q_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$  с элементами

$$q(\alpha, x) = \sum_{g \in R_j} x_{k,i} q_{i,j}^{(g)}(\alpha) (i, j \in S) \text{ примет вид}$$

$$q(\alpha, x) = \begin{bmatrix} \frac{0,175}{\alpha + 0,25} & \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} & \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \\ \frac{x_{11} + x_{31} + x_{21}}{\alpha + 1} & \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} & 0 \\ \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{x_{42}}{\alpha + 2} & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $[I - q(\alpha, x)]$ :

$$\begin{aligned} D(\alpha, x) = & -\frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left( \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right) + 1 - \\ & - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left( \frac{x_{11}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right). \end{aligned}$$

В матрице  $[I - q(\alpha, x)]^{-1} = [\mu_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$ ;

$$\mu_{00}(\alpha, x) = 0, \quad \mu_{01}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125},$$

$$\mu_{02}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \cdot 0,025/(\alpha + 0,125),$$

$$\mu_{10}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left( \frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right),$$

$$\mu_{11}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left( 1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \times \right. \\ \left. \times (x_{12}/(\alpha + 1) + 2x_{42}/(\alpha + 2)) \right),$$

$$\mu_{12}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left( \frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right),$$

$$\mu_{20}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left( \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right),$$

$$\mu_{21}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left( \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right),$$

$$\mu_{22}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left( 1 - \frac{0,0175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \times \right. \\ \left. \times \left( \frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right) \right).$$

В (18)  $k_i^{(r)}$  принимают такие значения:

$$k_0^{(0)} = 70000 \text{ у.е.}, \quad k_1^{(1)} = -70000 \text{ у.е.}, \quad k_1^{(2)} = -150 \text{ у.е.}, \\ k_1^{(3)} = -400 \text{ у.е.}, \quad k_2^{(1)} = -70000 \text{ у.е.}, \quad k_2^{(4)} = -12000 \text{ у.е.},$$

а величины  $\zeta_i^{(r)}$  записываются в виде:

$$\zeta_0^{(0)}(\alpha) = \frac{70000}{\alpha} \left( 1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0375}{\alpha + 0,125} \right), \\ \zeta_1^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left( 1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_1^{(2)}(\alpha) = -\frac{150}{\alpha} \left( 1 - \frac{0,5}{\alpha + 0,5} \right), \\ \zeta_1^{(3)}(\alpha) = -\frac{400}{\alpha} \left( 1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_2^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left( 1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_2^{(4)}(\alpha) = -\frac{1200}{\alpha} \left( 1 - \frac{2}{\alpha + 2} \right).$$

Найдем решения системы  $\tilde{C}$  с помощью алгоритма пересечения решений отдельных неравенств (24), полагая, что правые части  $b_k$  этих неравенств удовлетворяют условиям:

$$c_{11} < b_1 < 2c_1, \quad b_2 > c_{21}, \quad b_3 > c_{31}, \quad b_4 > c_{42}. \quad (30)$$

С учетом условий (30) находим следующие решения отдельных неравенств системы  $\tilde{C}$ :

$$\bar{\eta}_1 = 1 : 1 - (1, 0); \quad 2 - (0, 1), \quad 3 - (0, 0); \\ \bar{\eta}_2 = 2 : 1 - (1, 0); \quad 2 - (0, 0); \\ \bar{\eta}_3 = 3 : 1 - (1, 0); \quad 2 - (0, 0); \\ \bar{\eta}_4 = 4 : 1 - (0, 1); \quad 2 - (0, 0).$$

При наличии  $Z^{(0)} = \{\{1, 2, 3\}, \{1, 4\}\}$  на последнем шаге алгоритма получаем:

$$Z_{1221}^{(4)} = \{\{1\}, \{4\}\}, \quad Z_{1222}^{(4)} = \{\{1\}, \emptyset\}, \\ Z_{2121}^{(4)} = \{\{2\}, \emptyset\}, \quad Z_{2122}^{(4)} = \{\{2\}, \{1\}\},$$

$$Z_{2211}^{(4)} = \{\{3\}, \emptyset\}, \quad Z_{2212}^{(4)} = \{\{3\}, \{1\}\}, \\ Z_{3121}^{(4)} = \{\{2\}, \{4\}\}, \quad Z_{3122}^{(4)} = \{\{2\}, \emptyset\}, \\ Z_{3211}^{(4)} = \{\{3\}, \{4\}\}, \quad Z_{3212}^{(4)} = \{\{3\}, \emptyset\}.$$

Таким образом, решениями системы  $\tilde{C}$  являются векторы:  $1 - \{\{1\}, \{4\}\}$ ,  $2 - \{\{2\}, \{1\}\}$ ,  $3 - \{\{3\}, \{1\}\}$ ,  $4 - \{\{2\}, \{4\}\}$ ,  $5 - \{\{3\}, \{4\}\}$ .

Им соответствуют следующие значения булевых переменных  $\{x_{k,j}\}$ :

- 1)  $x_{1,1} = 1, x_{4,2} = 1;$
- 2)  $x_{2,1} = 1, x_{1,2} = 1;$
- 3)  $x_{2,1} = 1, x_{4,2} = 1;$
- 4)  $x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 1;$
- 5)  $x_{3,1} = 1, x_{4,2} = 1.$

Не указанные переменные в каждом  $i$ -ом решении равны нулю.

С учетом выражений 28 и 29  $f(\alpha, x)$  при  $\alpha = 0,1$ , что соответствует инфляции, равной 10%, и начальном распределении  $y = (1, 0, \dots, 0)$  принимает значения:  $f_1 = -51903;$   $f_2 = -5329040;$   $f_3 = -17161;$   $f_4 = -26939;$   $f_5 = -3325/$

Таким образом, при  $\alpha = 0,1$  и  $y = (1, 0, \dots, 0)$  оптимальной нерандомизированной марковской стационарной стратегией буде стратегия  $x_{1,1} = 0, x_{2,1} = 0, x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 0, x_{4,2} = 1$ , соответствующая решению  $\{\{3\}, \{4\}\}$  системы  $\tilde{C}$ .

## Выводы

В данной работе усовершенствован метод управления рисками разработки ПО. В основу данного метода была положена полумарковская модель принятия решений для управляемого марковского процесса в непрерывном времени. Отличительной особенностью предложенного метода является использование псевдобулевых методов бивалентного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями для определения оптимальной стратегии устранения эксплуатационных ошибок. Проведенные исследования показали, что используемые в данной работе теоретические положения в достаточном объеме отражают стандарты и возможности современных методологий тестирования ПО.

В качестве примера рассмотрены ситуации возникновения ошибок безопасности ПО, и определена оптимальная стратегия управления для устранения указанной аномальной ситуации. Следует заметить, что представленный в работе метод целесообразно использовать не только при управлении

рисками безпеки ПО, но і при функціональному, нагрудочному, стрессовому і других видах тестування для предотвращения можливих потерь.

### Список литературы

1. Krishnan M. *Soumya Software Development Risk Aspects and Success Frequency on Spiral and Agile Model / M. Soumya Krishnan // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 3, Issue 1, January 2015 pp.301-310*
2. Zeng Y. *Risk Management For Enterprise Resource Planning System Implementations in Project-Based Firms : dis. for the degree of PHD / Zeng Yajun, Maryland, 2010 – 210 p.*
3. Бриткин А. И. Риски, связанные с внедрением технологий, в проектах разработки программного обеспечения / А. Бриткин // Социально-экономические и технические системы. – 2007. – № 8 (42)
4. Вишняков Я.Д. *Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 368 с.*
5. Шапкин А.С. *Теория риска и моделирование рисков ситуаций / А.С. Шапкин, В.А. Шапкину. – М.: «Дашкв и К», 2005. – 880 с.*
6. Boehm B.W. *A spiral model of software development and enhancement / Boehm B., Egedy A. // IEEE Computer, May 1988 pp. 61-72*
7. Исикава К. *Японские методы управления качеством / К. Исикава, Сокр.пер. с англ. / Под. Ред. А. В. Глищева. – М.: Экономика, 1988. – 214 с.*
8. В.Д. Ногин. *Принятие решений при многих критериях. Учебно-методическое пособие. – СПб.: ИУАС, 2007. – 104 с.*
9. Geymayr J. *Fault-Tree Analysis: A Knowledge-Engineering Approach / J. Geymayr, N. Ebecken // IEEE Transactions on Reliability. – 1995. – № 44(1), pp. 37 – 45.*
10. *Анализ дерева отказов (Fault tree analysis (FTA)) / Электронный вариант Режим доступа: <http://www.statistica.ru/knowledge-clusters/technical-sciences/analiz-dereva-otkazov>.*
11. *Інженерія програмного забезпечення : Навч. посібник / [Смірнов О.А., Коваленко О.В., Мелешко Є.В. та ін.] – К.: РВЛ КНТУ, 2013. – 409 с.*
12. Будников С.А. *Полумарковская модель сложного конфликта радиоэлектронных систем [Текст] / С.А. Будников // V Межд. конф. «Методы и средства управления технологическими процессами», Саранск, 19 – 21 ноября 2009 года. Режим доступа: – <http://fetmag.mrsu.ru/2009-2>.*
13. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. *Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Комкнига. – 2005. – 400с.*
14. *Semi-Markov risk models for finance, insurance and reliability [Electronic resource] / J. Jacques, M. Raimondo. - Electronic text data. - Boston, Ma: Springer Science + Business Media LLC, 2007.*
15. К.В. Литвиненко *Полумарковский гиперслучайный подход к оценке рисков систем / К.В. Литвиненко // Збірник наукових праць ОДАТРЯ, №1(4). – 2014. – С.77-80.*
16. Коваленко А.В. *Задачи распознавания ситуаций в ERP системах/ А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, А.С. Коваленко // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 4(120). – Х.: ХУПС – 2014. – С. 161-164*
17. Коваленко А.В. *Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 5(142). – Х.: ХУПС – 2016. – С. 153-157.*
18. *Проблемы анализа и оценки рисков информационной деятельности / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Збірник наукових праць "Системи обробки інформації". – Випуск 3(140). – Х.: ХУПС – 2016. – С. 40-42.*
19. *Метод качественного анализа рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Випуск 2(23). – Харків: ХУПС. – 2016. – С. 150-158.*
20. *Метод количественной оценки рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Випуск 2 (47). – Х.: ХУПС. – 2016. – С. 128-133.*

Надійшла до редколегії 2.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський університет Повітряних Сил ім. Кожедуба, Харків.

### МЕТОД УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

О.В. Коваленко

У даній роботі завдання управління ризиками розробки програмного забезпечення за умови обмеженості коштів (фінансових, технічних та ін.) виділених на усунення помилок безпеки, розглядається у вигляді напівармарковської моделі прийняття рішень для керованого процесу в безперервному часу з критерієм мінімуму витрат на усунення аномалій. Розроблено метод управління ризиками розробки програмного забезпечення, що відрізняється від відомих використанням псевдобулевих методів бівалентного програмування з нелінійної цільової функцією і лінійними обмеженнями для визначення оптимальної стратегії усунення експлуатаційних помилок. В якості прикладу розглянуті ситуації виникнення помилок безпеки програмного забезпечення, і визначена оптимальна стратегія управління для усунення зазначеної аномальної ситуації.

**Ключові слова:** управління ризиками, розробка програмного забезпечення, псевдобулеві методи бівалентного програмування.

### METHOD OF RISK MANAGEMENT SOFTWARE DEVELOPMENT

A.V. Kovalenko

In this paper, the problem of risk management software development, provided the limited resources (financial, technical, etc.) allocated to the elimination of security bugs, regarded as a semi-Markov decision model for the controlled process in continuous time with a minimum criterion to eliminate anomalies costs. A risk management software development method, which differs from the known methods using pseudo bivalent programming with nonlinear objective function and linear constraints to determine the optimal strategy for elimination of operational errors. For example, consider the situation of occurrence of software security bugs and determined the optimal control strategy to eliminate this abnormal situation.

**Keywords:** risk management, software development, pseudo-dual-mode programming methods.

УДК 004.7

В.Є. Козлов<sup>1</sup>, Ю.В. Козлов<sup>2</sup>, В.Т. Оленченко<sup>1</sup><sup>1</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ПРОГРАМНИЙ ВИРІБ ДЛЯ РОЗВИТКУ ПЕРИФЕРИЧНОГО ЗОРУ

Розглянуто програмну реалізацію відомої з практичної психології методики для розвитку периферичного зору, удосконалену за рахунок використання літер кирилиці та латиниці в процесі тренувань. Програмний виріб можна застосовувати для набуття навичок швидкісного читання, а також для психологічного тестування.

**Ключові слова:** швидкісне читання, таблиці Шульте, периферичний зір.

### Аналіз публікацій та постановка проблеми

Однією з основних складових інтелектуальної праці є читання, головні цілі якого – навчання, самоосвіта, розширення кругозору, поглиблення світорозуміння та світогляду, духовний розвиток.

Цілі читання обумовлюють спосіб читання:

- пошукове читання (перегортання, перегляд);
- вибіркоче читання (попереднє знайомство);
- швидке читання;
- поглиблене читання.

Ефективне опрацювання, засвоєння і відтворення текстуальної інформації забезпечує раціональне читання – свідоме застосування знань закономірностей процесу читання і його доцільної організації [1]. Раціональне читання – це читання з перемінною швидкістю, що дозволяє переглядати несуттєве і глибоко засвоювати потрібне. Раціоналізувати процес читання дозволяє чітко сформульована мета читання й уміння читати швидко. Набувши навички швидкісного читання, швидкість читання можна підвищити в декілька разів.

Викладене вище обумовлює **актуальність та мету статті** – розглянути реалізацію методики розвитку периферичного зору з використанням сучасних інформаційних технологій.

### Виклад основного матеріалу

Традиційному методу читання властиві такі недоліки:

- 1) відсутність гнучкої стратегії читання, обумовлена нездатністю правильно вибрати спосіб читання для смислового сприйняття тексту;
- 2) нестійкість уваги, невміння зосередитися;
- 3) регресія - мимовільні зворотні рухи очей із повторною фіксацією погляду, що викликаються гаданими труднощами тексту;
- 4) мала зона ясного бачення – ділянки тексту, який чітко сприймається при одній фіксації погляду (рис. 1);

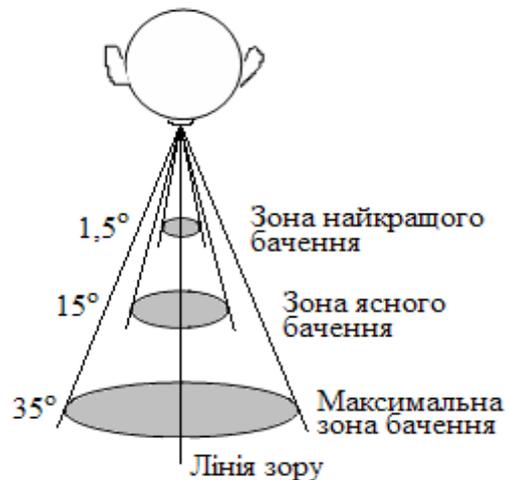


Рис. 1. Зони бачення людини

5) артикуляція – промовляння тексту вголос або про себе.

Ці недоліки обумовлені відсутністю навичок швидкісного читання.

Як установила сучасна лінгвістика, надмірність науково-технічних текстів досягає 75%. Це означає, що для засвоєння основного змісту тексту достатньо прочитати тільки чверть його обсягу. Мета швидкісного читання – знайти й опрацювати тільки змістовну частину тексту. Швидкісне читання передбачає наявність спроможності розуміти прочитане й уміння раціонально організувати процес читання, що визначає два шляхи придбання навичок: організаційний (усунення 1 і 2 недоліків) і технічний (усунення 3, 4, 5 недоліків)

Надбання навичок швидкісного читання передбачає розвиток периферичного зору шляхом тренувань. Для цього використовують відомі з практичної психології таблиці Шульте – квадрати розміром 20x20 см, у 25 клітинах яких довільно розташовані числа від 1 до 25. Для тренувань достатньо мати 10 таких таблиць.

Суть щоденних тренувань полягає у швидкому послідовному зчитуванні без пропусків чисел від 1

до 25 (або в оберненому порядку) за мінімальний (до 25 секунд) час. Під час пошуку погляд повинен скочувати тільки вертикально. Пошук провадиться шляхом “переміщення” уваги, а не погляду.

Не менш корисним є практика використання удосконалених таблиць, які містять не цифри, а розташовані у довільному порядку літери. Для цього розроблено програмний “генератор” таблиць, принцип побудови якого такий.

Генерується випадкова послідовність чисел в діапазоні 1 – 25 за допомогою датчика рівномірно розподілених чисел. Отримана послідовність перевіряється на наявність дублювання чисел, і, при необхідності, коригується.

Заповнюється таблиця. Якщо потрібна таблиця з літерами кирилиці або латиниці, числова послідовність замінюється на літери з відповідними номерами позицій в алфавіті. В кирилиці використовують літери від А до Щ, окрім Ё та Й в російському алфавіті, Г, Є, І, Ї та Ы в українській абетці; в латиниці виключена буква Z.

На рис. 2 наведено зовнішній вигляд стартового вікна програмного виробу (ПВ) з рядком меню. Команда меню Довідка визначає призначення, можливість і порядок використання ПВ, а також показує використовувані алфавіти з виключеннями. Інші три команди забезпечують роботу ПВ в основних режимах.

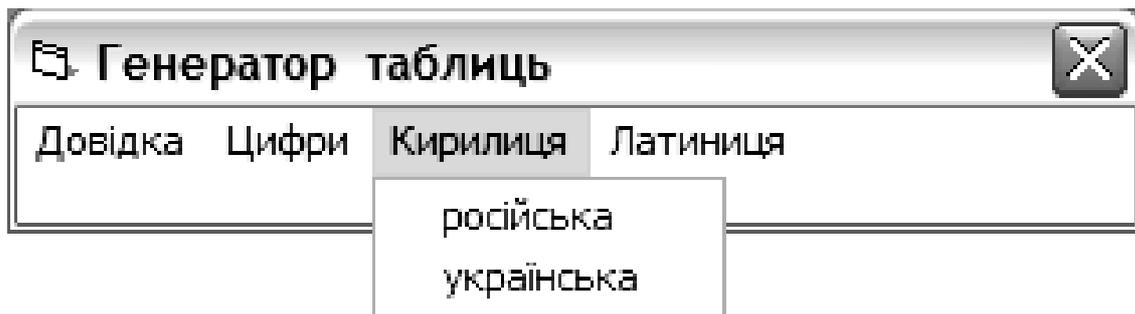


Рис. 2. Стартове вікно ПВ

На рис. 3 наведено зовнішній вигляд користувацького інтерфейсу ПВ, ліве верхнє віконце якого показано у збільшеному масштабі.

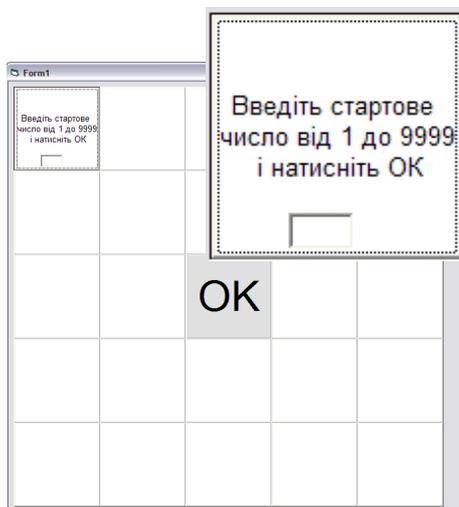


Рис. 3. Користувацький інтерфейс ПВ

Стартове число, що задається, забезпечує зміну вмісту таблиці. За замовчанням першою видається таблиця Шульте, вигляд якої наведено на рис. 4, або таблиці із літер кирилиці (рис. 5) чи латиниці (рис. 6) при завданні відповідних команд із рядка меню (рис. 2).

Зміна вмісту таблиці відбувається при натисканні виділеної контуром середньої клітинки, відміченої на рис. 4 – 6.

Таблиці, що експонуються, можна роздрукувати на принтері, використавши кнопку клавіатури Print Screen.

12	13	18	10	7
5	25	1	16	15
3	2	23	14	9
11	22	4	17	19
21	24	20	8	6

Рис. 4. Таблиця Шульте

М	Н	Т	К	Ж
Д	Щ	А	Р	П
В	Б	Ч	О	И
Л	Ц	Г	С	У
Х	Ш	Ф	З	Е

Рис. 5. Таблиця літер кирилиці

L	M	R	J	G
E	Y	A	P	O
C	B	W	N	I
K	V	D	Q	S
U	X	T	H	F

Рис. 6. Таблиця літер латиниці

Суть щоденних тренувань полягає у швидкому послідовному зчитуванні без пропусків чисел від 1 до 25 (або в оберненому порядку) за мінімальний (до 25 секунд) час.

Під час пошуку погляд має скочити тільки вертикально. Пошук провадиться шляхом «переміщення» уваги, а не погляду.

Аналогічним чином використовують таблиці літер. Час зчитування дещо більший, ніж для таблиць Шульте.

Час зчитування інформації з таблиці треба фіксувати. Мінімальне значення, досягнуте в процесі тренувань, через декілька тижнів стане складно поліпшити.

Це означає, що результату тренувань – розширення зони ясного бачення (приблизно вдвічі) – досягнуто.

Розширюється також і максимальна зона бачення, тобто покращується периферичний зір.

Тренування з використанням таблиць доцільно поєднувати з читанням газетних і журнальних статей, книжок або застосовувати спеціальний тренажер для набуття навичок швидкісного читання [2].

Взагалі, розширена зона ясного бачення є корисною для будь-якої людини, професія якої потребує використання периферичного зору – розвідника, стрільця, пілота тощо.

## Висновки

Розглянуто практичну реалізацію методики розвитку периферичного зору з використанням сучасних інформаційних технологій, удосконалену за рахунок використання літер кирилиці та латиниці в процесі тренувань.

Розроблений програмний виріб може бути використаний для набуття навичок швидкісного читання, а також для психологічного тестування.

## Список літератури

1. Полторак С.Т. Технологія учіння: Методичний посібник [Текст] / С.Т. Полторак, О.О. Морозов, В.Є. Козлов. – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2012. – 50 с.

2. Козлов В.Є. Програмний тренажер для набуття навичок швидкісного читання [Текст] / В.Є. Козлов, Ю.В. Козлов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 5 (95). – С. 289-290.

Надійшла до редколегії 2.06.2016

**Рецензент:** канд. техн. наук, с.н.с., доц. О.Ю. Іохов, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

## ПРОГРАМНОЕ ИЗДЕЛИЕ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

В.Е. Козлов, Ю.В. Козлов, В.Т. Оленченко

*Рассмотрена программная реализация известной из практической психологии методики для развития периферического зрения, усовершенствованной за счет использования букв кириллицы и латиницы в процессе тренировок. Программное изделие можно применять для приобретения навыков скоростного чтения, а также для психологического тестирования.*

**Ключевые слова:** скоростное чтение, таблицы Шульте, периферическое зрение.

## SOFTWARE PRODUCT FOR THE DEVELOPMENT OF PERIPHERAL VISION

V.Ye. Kozlov, Yu.V. Kozlov, V.T. Olenchenko

*We will review the implementation of the known methods of practical psychology for the development of peripheral vision, improved by the use of Latin and Cyrillic letters in the training process. The software product can be used for the acquisition of high-speed reading skills, as well as for psychological testing.*

**Keywords:** speed reading, table Schulte, peripheral vision.

УДК 658.512.032

Н.В. Косенко<sup>1</sup>, Р.В. Артюх<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова<sup>2</sup> ГП "ЮЖГИПРОНИИАВИАПРОМ", Харків

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ, ОТБОРА И ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНДЫ ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ МНОЖЕСТВА ХАРАКТЕРИСТИК

*Рассмотрена задача формирования команды проекта с учётом множества профессиональных и личностно-психологических характеристик. Сформулирована общая задача формирования команды проекта. Выполнен анализ общей структуры допустимого множества решений. Описаны основные этапы решения задачи формирования команды проекта.*

**Ключевые слова:** команда проекта, отбор, оптимизация.

### Введение

Сегодня все большее число компаний выделяют как самостоятельный вид деятельности кадровое управление и планирование человеческих ресурсов. Человеческие ресурсы являются наиболее ценным ресурсом, а развитие их потенциала – важной стратегической задачей управления командой проекта.

Основным фактором конкурентоспособности проектной команды является уровень профессионализма сотрудников. Успешное функционирование команды проекта зависит от взаимодействия множества факторов: ресурсов, информации, материалов, людей и организации, главным из которых является человеческий потенциал. При этом основное внимание уделяется профессиональной компетенции сотрудников. Для эффективного функционирования команды, необходимо учитывать индивидуально-психологические особенности личности.

В соответствии с методологией управления проектами РМІ [1], понятие «команда управления проектом», определяется как часть команды проекта, которая отвечает за выполнение операций по управлению и руководству проектом, таких как инициация, планирование, исполнение, мониторинг, контроль и завершение различных фаз проекта. Команда проекта включает руководителя проекта и группу лиц, которые действуют вместе при исполнении работ проекта для достижения целей проекта. Команда проекта состоит из руководителя проекта, персонала, отвечающего за управление проектом, и остальных членов команды, которые выполняют работу, но не обязательно участвуют в управлении проектом. Данная команда состоит из представителей различных групп, обладающих знаниями в конкретной предметной области или набором конкретных навыков для выполнения работ по проекту.

Задача формирования команды проекта носит сложно формализуемый характер. Однако для широкого применения информационных технологий

необходима разработка формально-математических моделей и методов. Таким образом, разработка методов и моделей формирования команды проекта на основе многокритериальной оптимизации с учётом профессиональных и личностно-психологических факторов является актуальной научной задачей.

### Задача формирования проектной команды

Каждый вид работ проекта характеризуется набором соответствующих параметров с различной физической природой и метрикой их измерения. Эти обстоятельства вынуждают разрабатывать различные методы проведения сравнительной оценки близости планируемых работ и аналогов и степени участия в них исполнителей. Использование опыта предыдущих разработок позволяет отобрать прошлые работы, схожие с планируемыми работами, и соответствующий состав исполнителей. Из этого состава исполнителей будет сформирована команда исполнителей нового проекта после проведения оценки профессиональных качеств кандидатов по набору критериев, определенных экспертами. В ряде случаев управления человеческими ресурсами проектов, завершается процессом отбора кандидатов по факту участия в аналогичных проектах.

Рассмотренный подход к вопросам накопления, систематизации и доступа к информации о прошлых разработках привел к пониманию необходимости создания специализированной системы хранения и обработки к информации, содержащейся в технической документации по проектным разработкам прошлых периодов – ИСД (информационная система документации).

Выбор данного подхода обусловлен во многом тем, что зачастую в организации к моменту планирования выпуска новой продукции или модернизации текущей уже накоплен определенный опыт выполнения подобных проектов. Однако, стремление к повышению коэффициента преемственности конст-

рукторско-технологических решений, наталкивается на ряд трудностей, основной из которых является доступ к информации прошлых разработок. Преодоление этих трудностей в значительной степени возможно при условии формирования архивов технической документации с автоматизированной системой обработки информации, поиска и классификации объектов хранения.

Основные функции такой интеллектуальной системы хранения технической документации можно сформулировать следующим образом:

1) классификация и описание объектов хранения в соответствии с требованиями нормативных документов;

2) формирование архива производится на основе существующего хранилища информации предметной области (базы данных конструкторской и технологической систем производства);

3) при поиске объектов руководствуются заданной мерой сходства проекта и образца хранения для решения новой проблемы. Сходство аппроксимируется мерой близости описаний образов, вычисляемой как расстояние между образами в многомерном признаковом пространстве.

Описание ИСД объекта проектирования проблемной ситуации кодируется по требованиям и вводится в структуру ИСД. Сопоставляя объект разработки с множеством накопленных в хранилище, ИСД ищет похожие объекты, из которых в свою очередь подбирается наиболее уместный для планируемой работы объект – кандидат (или несколько объектов-кандидатов).

В тоже время успех работы команды во многом определяется психологическим климатом в коллективе, который зависит от личностных, деловых и психологических качеств отдельных сотрудников [2, 3].

Принятые характеристики личностных и психологических качеств включаются в перечень требований к кандидатам в проект наряду с профессиональными характеристиками и составляют набор критериев для оценки и набора команды проекта.

Задача такого рода на описательном уровне относится к проблеме принятия решения по выбору наилучшего варианта (кандидата) из набора имеющихся кандидатов [4, 5] или ранжирования списка кандидатов по степени их соответствия, предъявляемым требованиям.

### Анализ области допустимых решений многокритериальной задачи

В общем случае множество допустимых решений (альтернатив)  $X$  есть композиция двух подмножеств:

- согласованных решений (область согласий)  $X^S$ ;

- компромиссных решений (область компромиссов)  $X^C$ .

Областью согласий  $X^S$  называется подмножество множеств допустимых решений  $X$ , на которых один или несколько частных критериев можно улучшить без ухудшения качества других частных критериев.

Областью компромиссов  $X^C$  называется подмножество  $X$ , на котором ни один частный критерий  $k_i(x)$  невозможно улучшить без ухудшения значения хотя бы одного критерия, т.е.:

$$X = X^S \cup X^C; \quad X^S \cap X^C = \emptyset. \quad (1)$$

В случае двух критериев  $k_1(x)$  и  $k_2(x)$ , каждый из которых максимизируется, общая структура допустимого множества  $X$  показана на рисунке 1. В отдельных случаях множество  $X$  может состоять только в области согласия  $X^S$  ( $X^C = \emptyset$ ) (рис. 2, а) или компромиссов  $X^C$  ( $X^S = \emptyset$ ) (рис. 2, б).

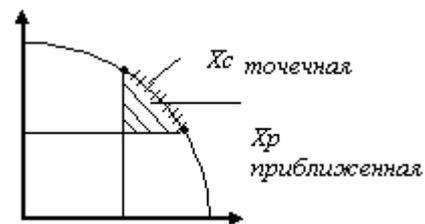


Рис. 1. Области компромиссов – точечная  $X^C$  и приближенная  $X^P$

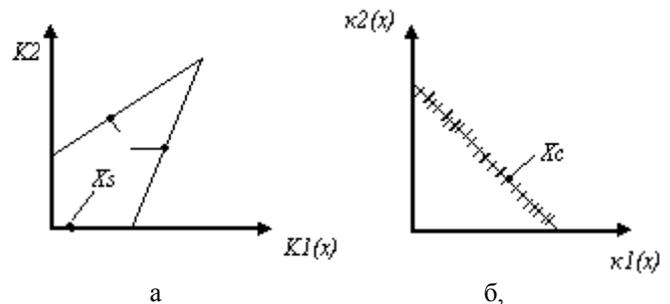


Рис. 2. Примеры множеств  $X$ , состоящих только из: а –  $X^S$ ; б –  $X^C$

Определение точной области  $X^C$  достаточно трудоемкая вычислительная задача. Поэтому часто определяют только приближенную область компромиссов  $X^P$ . Она включает в себя полностью точную область  $X^C$  и часто область согласия.

### Рекомендации по применению предложенных моделей

Применение той или иной модели для решения задач оценивания и оптимизации принимаемых решений в области формирования команды, определяется спецификой сформулированной цели, уровнем информации для предварительного оценивания и осведомленностью экспертов и ЛПР.

Для реализации программы формирования команды проекта необходимо произвести предварительный отбор претендентов из состава которых будут отбираться члены команды проекта после проведения тестирования по оценке их компетентности и личностно-психологических характеристик. Формирование первичного состава претендентов для дальнейшего их оценивания и принятия решений о включении в состав команды может производиться различными способами. Выбор способа первичного подбора кандидатов определяется рядом факторов таких как категории работников особенности производства, численности по категориям и профессиям и т.п. однако основным фактором в этом процессе будет являться наличие определенного опыта работ в аналогичном предприятии или близком по отраслевому признаку. В связи с этим предполагается первичное формирование претендентов производить на основе учета профессионального опыта аналогичных видов работ на начальном этапе. Источником информации о выполнявшихся видах работ, могут служить архивы технической документации.

### Выводы

Сформулирована общая задача оценивания и формирования трудовых ресурсов с учетом профессиональных и личностно-психологических свойств кандидата.

Предложен способ решения частных задач путем детализации характеристик описания кандидатов с выделением наиболее важных частных показателей, необходимых для выполнения специфических видов работ.

Предложена система подбора кандидатов в команду проекта по степени близости планируемых работ и аналогов прошлых разработок, что позволяет повысить оперативность и сократить срок подбора персонала для включения в команду проекта.

Рассмотренные выше постановки задач и схемы их решения актуальны в основном для ситуаций выбора наилучшего решения из множества возможных

альтернатив, т.е. эти подходы, могут использоваться при необходимости выбора одного лучшего кандидата из состава претендентов.

Проверка предложенных моделей и методов проводилась в рамках решения задачи поиска в базе данных архива предприятия кандидатов в команду исполнителей проекта в соответствии с предъявляемыми требованиями по профессиональным и личностно-психологическим требованиям.

Достоинство предложенного метода, заключается в его применимости для широкого круга задач управления кадрами, что открывает перспективы для информатизации и на этой основе объективного, аргументированного принятия решений по реализации кадровой политики в широком понимании.

Результаты работы могут использоваться при разработке математического и программного обеспечения компьютеризированных систем управления командой проекта.

### Список литературы

1. *Руководство к своду знаний по управлению проектами РМВОК [Текст]. – РМ. 5-е изд., 2013. – 586 с.*
2. Колесникова Е.В. Оценка эффективности командной работы на стадии инициации проектов / Е.В. Колесникова, Д.В. Лукьянов, О.И. Шерстюк // *Управление развитием складных систем.* – 2015. – Т. 21. – С. 37 – 42.
3. Мозгалева П.И. Информационные технологии для оценки компетенций и организации проектной деятельности при подготовке технических специалистов / П.И. Мозгалева, К.В. Гуляева, О.М. Замятина // *Информатизация образования и науки.* – 2013. – №. 4. – С. 30-46.
4. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд [Текст] / Д.А. Новиков. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2008. – 184 с.
5. Катаева Є.Ю. Модель розподілу трудових ресурсів за особистісними характеристиками / Є.Ю. Катаева, П.А. Матус // *Управління розвитком складних систем.* – 2015. – № 17. – С. 161 – 167.

Надійшла до редколегії 2.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

### АВТОМАТИЗАЦІЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ, ВІДБОРУ ТА ФОРМУВАННЯ КОМАНДИ ПРОЕКТУ НА ОСНОВІ МНОЖИНИ ХАРАКТЕРИСТИК

Н.В. Косенко, Р.В. Артюх

*Розглянуто задачу формування команди проекту з урахуванням безлічі професійних і особистісно-психологічних характеристик. Сформульована загальна задача формування команди проекту. Виконано аналіз загальної структури допустимого безлічі рішень. Описано основні етапи рішення задачі формування команди проекту.*

**Ключові слова:** команда проекту, відбір, оптимізація.

### METHODS OF AUTOMATION OF EVALUATION, SELECTION AND TEAM PROJECTS BASED ON MANY CHARACTERISTICS

N.V. Kosenko, R.V. Artyukh

*The problem of the formation of the project team, taking into account a variety of professional and personal and psychological characteristics. A general problem of the formation of the project team. The analysis of the overall structure of the feasible set of solutions. The basic steps for solving the problem of formation of the project team.*

**Keywords:** project team selection, optimization.

УДК 004.056 (043.2)

С.Г. Семенов<sup>1</sup>, Б.М. Резанов<sup>1</sup>, В.В. Босько<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків<sup>2</sup> Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград

## ПРОЦЕДУРИ ДВОХФАКТОРНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОННОГО ЦИФРОВОГО ПІДПISУ

У статті проведено аналіз механізмів захисту електронного цифрового підпису. Визначено, що одним зі шляхів забезпечення захисту електронного цифрового підпису є використання процедур двохфакторної аутентифікації. Розроблено процедури двохфакторної аутентифікації для забезпечення захисту електронного цифрового підпису та проілюстровано за допомогою мови моделювання UML. Розроблено та проілюстровано загальну архітектуру програмної системи. Визначено доцільність подальшої реалізації наведених процедур.

**Ключеві слова:** електронний цифровий підпис, двохфакторна аутентифікація, UML.

### Постановка задачі

Для створення ефективного апаратно-програмного забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) будь-якої системи необхідно поєднання існуючих механізмів захисту різних типів, що забезпечують недопущення певних, характерних для цієї системи видів порушень ІБ, оперативне виявлення чинників порушень ІБ а також реагування на порушення ІБ, включаючи ліквідацію наслідків. Одним з механізмів, що вирішують широкий спектр завдань превентивного інформаційного захисту є електронний цифровий підпис (ЕЦП), що представляє математичну схему, призначену для відображення дійсності електронних повідомлень, документів, транзакцій, а також аутентифікації джерела повідомлень [1-6]. Слід зауважити, що всі властивості, що характеризують якість ЕЦП (справжності, безвідмовності і т.і.) залежать від закритого ключа, який не повинен бути відкликаний до його використання. [1, 2].

Проведені дослідження і аналіз літератури [4, 5] показали, що всі криптосистеми, що функціонують на принципах використання відкритого / закритого ключа, повністю залежать від захищеності закритих ключів і даних, необхідних для їх формування. Відомо, що закритий ключ ЕЦП може зберігатися на комп'ютері користувача і бути захищений локальним паролем. Однак такий спосіб має ряд недоліків. Зокрема користувач повністю прив'язаний до комп'ютера при формуванні підпису, і в той же час безпека закритого ключа повністю залежить від безпеки самого комп'ютера.

Аналіз сучасних розробок в області аутентифікації [1-6] показав, що більш надійною альтернативою зберігання закритого ключа є смарт-карта. При цьому така смарт-карта повинна бути оснащена захистом від несанкціонованого доступу (НСД).

Проведені дослідження показали, що одним з ефективних механізмів захисту смарт-карт від не-

санкціонованого доступу є процедура двохфакторної аутентифікації.

Аналіз літератури [1-6] показав, що в даний час існує ряд сучасних розробок і практичних реалізацій протоколів, програмних продуктів і цифрових пристроїв, що виконують функції двохфакторної аутентифікації. Однак вони не позбавлені недоліків. Наприклад, в статті [1] автором проведено детальний аналіз недоліків реалізації процедур двохфакторної аутентифікації відомого інтернет-ресурсу - «Вконтакте», і наведено перелік уразливостей, що призводять до відключення другого фактору. Також одним з основних недоліків практично усіх подібних систем є відсутність контролю цілісності даних (відсутність механізмів контролю за підркобою), та складність мультиагентного адміністрування.

З іншого боку будь-яке ускладнення процедур двохфакторної аутентифікації призводить до значного збільшення вартості продуктів. Тому актуальною стає задача розробки і реалізації процедур двохфакторної аутентифікації на основі існуючих телекомунікаційних рішень. Це може дозволити знизити собівартість продукту і забезпечити якісний рівень захисту ЕЦП.

### Основна частина

Для більш детального опису процедур двохфакторної аутентифікації скористаємось структурно-функціональною моделлю [6] в основу якої положені основні принципи уніфікованої мови моделювання UML. UML – це сімейство графічних нотацій, в основі якого міститься єдина метамодель [6]. UML являє собою відкритий стандарт, який знаходиться під керуванням групи Object Management Group – відкритого консорціуму компаній. UML дозволяє описати моделі та сценарії взаємодії у системі з різних точок зору для подальшого втілення, наочно відобразити компоненти системи, учасників процесу та їх взаємодію.

В системі присутні такі актори.

1. Ресурс – щось, чим володіє клієнт.
2. Клієнт – людина, яка реєструється в системі для того, щоб налаштувати багатофакторну аутентифікацію для захисту власного ресурсу від несанкціонованого доступу за допомогою проєктованої системи. Клієнт є власником облікового запису і саме він вносить кошти для сплати послуг системи.
3. Адміністратор – людина, назначена клієнтом для управління системою аутентифікації на одному або кількох ресурсах.
4. Менеджер системи – абстрактна сутність, яка може керувати системою аутентифікації. Реальною реалізацією такої сутності є клієнт та адміністратор системи.
5. Користувач – людина, яка використовує ресурс клієнта, має аутентифікатор та використовує його для отримання доступу до запитуваного ресурсу.

В системі присутні наступні прецеденти.

1. Реєстрація клієнта в системі. Цей прецедент ініціюється клієнтом. Він забезпечує можливість отримати доступ до всієї функціональності системи.
2. Управління ресурсами клієнта. Ініціюється менеджером системи (адміністратором чи клієнтом). Дозволяє створити або видалити ресурс, дозволити або заборонити використання системи ресурсом клієнта, редагувати інформацію про ресурс.

3. Управління користувачами. Ініціюється менеджером системи. Дозволяє реєструвати та видаляти користувачів в системі, редагувати інформацію про них, блокувати або розблокувати доступ до свого ресурсу, назначати або видаляти токен користувача.

4. Запит доступу до ресурсу клієнта. Ініціюється користувачем. Для отримання доступу до ресурсів клієнта користувачеві необхідно пройти процедуру аутентифікації на сайті клієнта. Для цього йому необхідно заповнити форму аутентифікації на сайті клієнта.

5. Управління адміністраторами. Ініціюється клієнтом. Дозволяє додати або видалити, блокувати або розблокувати адміністратора в системі.

6. Запит на аутентифікацію користувача. Ініціюється ресурсом клієнта у той час, коли користувач намагається пройти процедуру аутентифікації. Дозволяє перевірити чи правильні дані ввів користувач для аутентифікації.

7. Перегляд статистики. Ініціюється менеджером системи. Дозволяє переглянути різноманітну інформацію про роботу і використання системи.

8. Поповнення рахунку. Ініціюється клієнтом. Дозволяє внести кошти для сплати послуг, що надає система клієнту.

Діаграма прецедентів системи приведена на рис. 1.

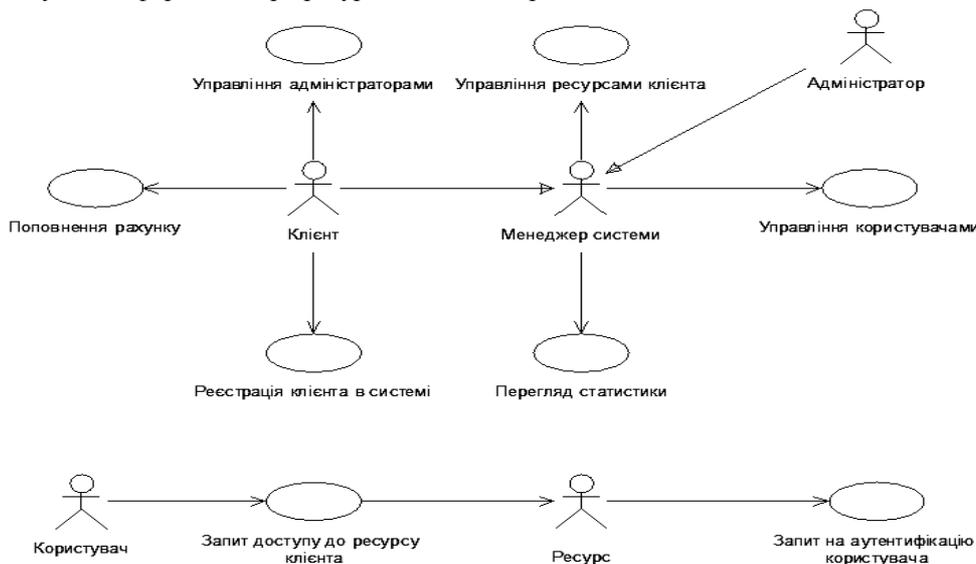


Рис. 1. Діаграма прецедентів програмної системи

**Потоки подій та діаграми послідовностей програмної системи.** Основна функція системи полягає в тому, що вона має дати відповідь, чи є користувач тим, за кого себе видає. Виходячи з цього, прецедент «Запит на аутентифікацію користувача» є досить важливим елементом моделі. Щоб краще його зрозуміти розглянемо потік подій цього прецеденту.

**Передумови.** Клієнт має бути зареєстрований в системі та мати доданий ресурс, який буде виконувати запит.

**Головний потік.** Прецедент починає виконуватись, коли ресурс клієнта робить запит на аутентифікацію користувача, що звернувся до нього. Перед цим ресурс клієнта отримав від користувача аутентифікаційні данні: логін, пароль, одноразовий пароль. Отримавши данні, ресурс клієнта формує запит та передає його до проєктованої системи. Окрім аутентифікаційних даних користувача ресурс додає до запиту власні ідентифікаційні записи для того, щоб система могла успішно його ідентифікувати.

Система отримує інформацію і перевіряє вірність ідентифікатора ресурсу (E-1), після чого перевіряє правильність логіна та пароля користувача. Перевірка логіна та пароля містить в собі перевірку чи має даний користувач доступ до даного ресурсу (E-2). Після цього система генерує одноразовий пароль для даного користувача (S-1) та перевіряє, чи відповідає згенерований пароль тому, що був переданий ресурсом від користувача (E-3). В кінці система перевіряє обмеження, накладені на цього користувача (E-4), формує відповідь (S-2) і відправляє її ресурсу, що виконав запит. На основі цієї відповіді ресурс вирішує що робити з користувачем далі.

**Підпотоки.** Підпоток S-1 відповідає за генерацію одноразового пароля. Система завантажує необхідні для генерації дані з БД, визначає, по якому алгоритму має відбуватись генерація і, діючи згідно цього алгоритму, визначає поточний одноразовий пароль. Підпоток S-2 формує відповідь на запит про аутентифікацію користувача. Формуючи відповідь, система відповідає на основне питання «Чи може користувач мати доступ до данного ресурсу?». Перевірка даних іде поетапно. Кожен наступний етап виконується тільки в тому разі, коли всі попередні етапи успішно завершені. Відповідно, якщо якийсь з етапів завершується невдало, то не має сенсу виконувати наступні перевірки, система відразу переходить до формування відповіді про неможливість доступу користувача до данного ресурсу.

Якщо всі етапи успішно пройдені, то це свідчить про те, що отримані відомості є вірними, відповідно формується відповідь про те, що користувач може отримувати доступ до ресурсу.

**Альтернативні потоки.** E-1: отримані невірні ідентифікаційні дані ресурсу. Система виконує підпоток S-2, де буде сформована відповідь про заборону доступу з причини неможливої ідентифікації ресурсу. E-2: невірний логін або пароль. Якщо користувач з таким логіном не існує, або цей користувач не має доступу до запитуваного ресурсу, або пароль не є вірним, то система виконує підпоток S-2, де буде сформована відповідь про заборону доступу з указанням причини. E-3: невірний одноразовий пароль. Система виконує підпоток S-2, де буде сформована відповідь із заборону доступу по причині невірного одноразового пароля. E-4: користувач не пройшов накладених на нього обмежень. Система дозволяє блокувати користувачів по заданим параметрам: географічній зоні, з якої входить користувач та часу, в який відбувається запит. Ці параметри визначаються менеджером для кожного ресурсу. Якщо користувач не проходить накладених обмежень, то система виконує підпоток S-2, де в якості причини відмови буде вказано, яке саме обмеження не пройшов користувач.

Якщо на якомусь етапі стає зрозуміло, що подальша перевірка не має змісту, то система відразу

переходить до формування відповіді про неможливість доступу даного користувача до даного ресурсу. У відповіді також буде вказана причина, з якої користувач не пройшов перевірку. Це допоможе споживачам системи більш зручно спостерігати за її роботою та вчасно реагувати на можливі проблеми.

Для того, щоб краще зрозуміти та наочно відобразити як проходять процеси в програмній системі використовують діграми послідовностей. Діаграма послідовності основного потоку подій прецедента «Запит на аутентифікацію користувача» представлена на рис. 2.

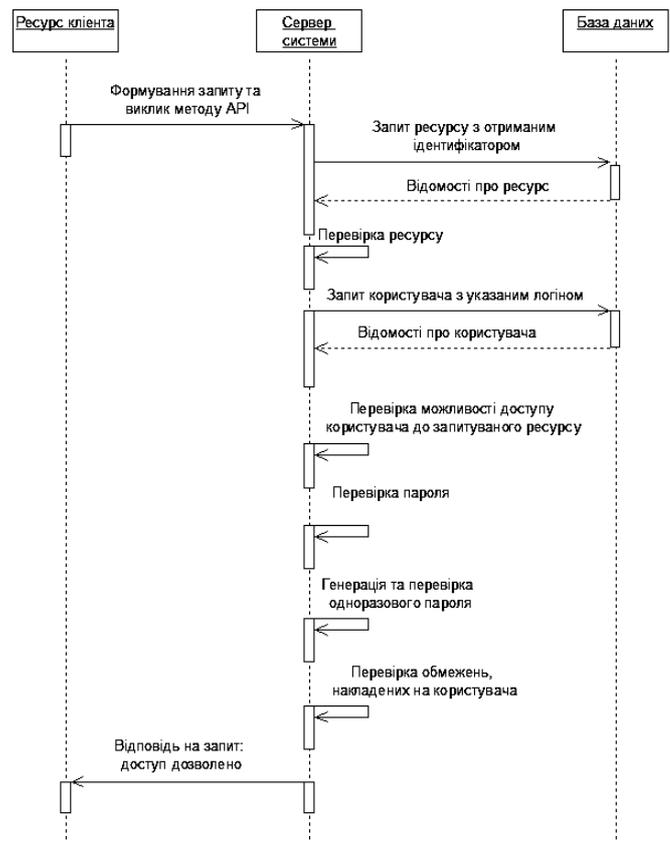


Рис. 2. Діаграма послідовності основного потоку подій для прецедента «Запит на аутентифікацію користувача»

Діаграма діяльності та діаграма станів програмної системи. Для опису інформаційних процесів, що відбуваються в системі, скористаємось діаграмою діяльності. Даний тип діаграм дозволяє відобразити послідовність передачі повідомлень між об'єктами. Цей тип діаграми не акцентує увагу на конкретній взаємодії, головний акцент приділяється послідовності прийому та передачі повідомлень. Розглянемо, що відбувається у прецеденті «Управління адміністраторами». Як відомо, адміністраторами може керувати тільки клієнт, тому кожен раз, коли аутентифікований суб'єкт намагається отримати доступ до сторінки керування адміністраторами,

необхідно виконати процес авторизації – перевірити, чи має аутентифікований суб'єкт право на пере-

гляд цієї частини системи. Детальний процес зображено на рис. 3.

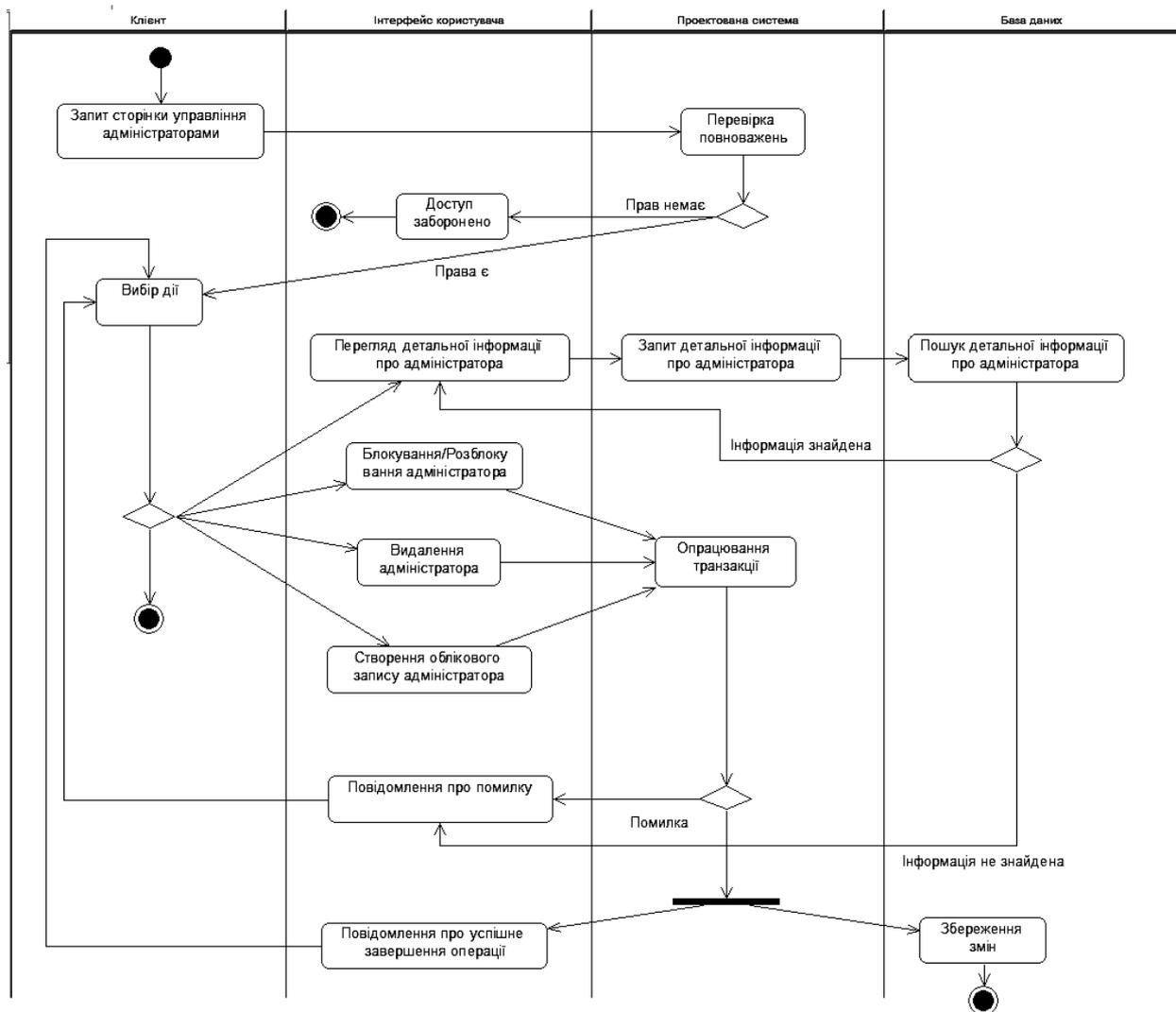


Рис. 3. Діаграма діяльності прецедента «Управління адміністраторами»

Обліковий запис адміністратора в системі може знаходитись у різних станах. При додаванні нового облікового запису адміністратора клієнтом створиться непідтверджений обліковий запис. Після того, як людина вказана у якості адміністратора, завершить реєстрацію створюється повноцінний обліковий запис. За бажанням клієнта адміністратор може бути заблокований або розблокований. Перемикання стану адміністратора відбувається шляхом перемикання стану чекбоксу на сторінці перегляду інформації про адміністраторів. Нормальний стан для адміністратора «Активний», це значить, що він має доступ до управління системою аутентифікації на визначеному клієнтом ресурсі. Якщо адміністратор знаходиться у стані «Заблокований», то він не має доступу до системи і не може виконувати свої функції. Як бачимо, робота адміністратора в системі завершується, коли клієнт видаляє обліковий запис адміністратора. При цьому не важливо в якому стані знаходився обліковий запис: в активному чи заблокованому.

**Загальна схема роботи програмної системи.**

Виходячи з поставлених вимог та отриманих моделей поведінки зобразимо загальну архітектурну схему програмної системи на рис. 4.

Для ефективної роботи користувачів системи призначений компонент «Advanced GUI» – вдосконалений графічний інтерфейс користувача. Саме через нього користувач отримує доступ до всіх функцій системи. Основна вимога до графічного інтерфейсу – він повинен бути зручний у користуванні. Від цього напряму залежить сприйняття системи користувачем.

Зовнішні системи, які позначені «External system», взаємодіють з проектованою системою через набір методів API. Обмін між системами відбувається через JavaScript Object Notation (далі – JSON) або Simple Object Access Protocol (далі – SOAP). Для полегшення інтеграції між системами призначена спеціальна бібліотека, яка на рисунку позначена літерами «LB».

Вона завантажується клієнтом та встановлюється на власному ресурсі.

Такий підхід дозволяє зменшити витрати часу на інтеграцію сервісу. Також у системі присутні мо-

дулі для відправлення повідомлень (SMS Transport Module), модуль ліцензування (License Module), та модуль нарахування оплати за послуги системи (Billing Module).

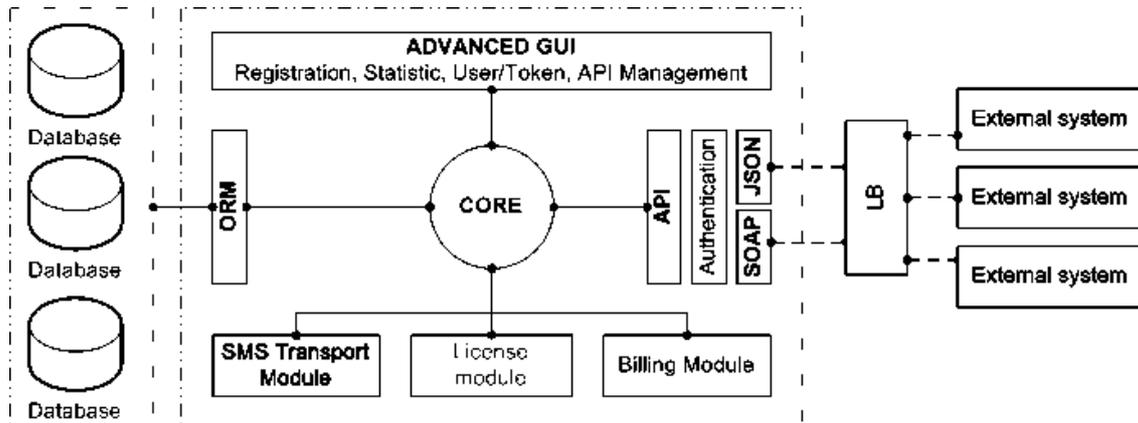


Рис. 4. Загальна архітектура програмної системи

## Висновки

Таким чином, у статті запропоновано процедури двохфакторної аутентифікації для забезпечення захисту ЕЦП.

Ці процедури використовують стандартні підходи щодо обміну даними, але в той же час унеможливають загрозу відключення другого фактору аутентифікації та забезпечують захист механізму ЕЦП.

Відміною рисою запропонованих процедур є контрольованість цілісності даних виконуваних транзакцій (забезпечення захисту від змін або підробки даних).

Крім того, на відміну від аналогічних систем, розроблена система кроссплатформенна, та дозволяє мати одному адміністратору кілька ресурсів, з різними користувачами, настройками фільтрації (мультиагентність адміністрування).

У подальшому розроблені процедури дають можливість програмно-апаратної реалізації пристроїв двохфакторної аутентифікації.

## Список літератури

1. Двойная аутентификация [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/315862/>.
2. Закон Украины Об электронной цифровой подписи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.buhgalteria.com.ua/Hit.html?id=496>
3. Идентификация и аутентификация с помощью ЭЦП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://megalektsii.ru/s44162t1.html>
4. Конявская С. Плюсы и минусы двухфакторной аутентификации [Електронний ресурс] / С. Конявская. – Режим доступу [http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/plyusy\\_i\\_minusy\\_dvuhfakt\\_autentifikacii](http://www.itsec.ru/articles2/Oborandteh/plyusy_i_minusy_dvuhfakt_autentifikacii).
5. Семенов С.Г. Протоколы защиты информации у компьютерных системах та сетях / С.Г. Семенов, О.О. Кузнецов. – Х.: ХНУРЕ, 2009. – 184 с.
6. Хассан Гома UML-проектирование систем реального времени параллельных и распределенных приложений / Гома Хассан. – М.: ДМК Пресс 2011. – 704 с.

Надійшла до редколегії 18.05.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ПРОЦЕДУРЫ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

С.Г. Семенов, Б.Н. Резанов, В.В. Боско

В статье проведен анализ механизмов защиты электронной цифровой подписи. Определено, что одним из путей обеспечения защиты электронной цифровой подписи является использование процедур двухфакторной аутентификации. Разработаны процедуры двухфакторной аутентификации для обеспечения защиты электронной цифровой подписи и проиллюстрировано с помощью языка моделирования UML. Разработан и проиллюстрировано общую архитектуру программной системы. Определена целесообразность дальнейшей реализации указанных процедур.

**Ключевые слова:** электронная цифровая подпись, двухфакторная аутентификация, UML.

## PROCEDURES TWO-FACTOR AUTHENTICATION TO PROTECT DIGITAL SIGNATURE

S.G. Semenov, B.M. Rezanova V.V. Bos'ko

The article analyzes the mechanisms to protect digital signature. Determined that one of the ways to protect digital signature treatments is the use of two-factor authentication. The procedure of two-factor authentication to protect digital signature and illustrated using modeling language UML. Designed and illustrated the overall architecture of software systems. Determined expediency further implementation of these procedures.

**Keywords:** digital signature, two-factor authentication, UML.

УДК 623.004.27

Ю.Ф. Худова, О.М. Катасонова

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ МЕТРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПО ВИБІРКАХ ОБМЕЖЕНОГО ОБ'ЄМУ

*В роботі проаналізовано відомі методи оцінки щільності розподілу випадкової величини при проведенні її вимірювання. Для випадку проведення метрологічних вимірювань в умовах вибірки обмеженого об'єму запропоновано метод оцінки щільності розподілу випадкової величини на основі мінімізації функціоналу емпіричного ризику. Отримано вираз для функціоналу емпіричного ризику. Метод направлений на вирішення задач, коли точний вигляд апроксимуючої функції не відомий, а її оцінка проводиться по вибірці обмеженого об'єму.*

**Ключові слова:** метрологічні вимірювання, вибірка, обмежений об'єм, щільність розподілу, випадкова величина, функціонал, емпіричний ризик, обробка результатів.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо [1], що показники ефективності бойового застосування озброєння і військової техніки (ОВТ) Збройних Сил (ЗС) України тісно пов'язані з рівнем метрологічного забезпечення військ (сил) та визначаються станом вимірювальної техніки, розвитком військової метрології як науки. Успіх сучасного бою залежить від того, наскільки повно використовуються можливості ОВТ, реалізуються тактико-технічні характеристики (ТТХ) ОВТ.

Якісне метрологічне забезпечення, яке гарантує точність вимірювань, дозволяє зберегти боєготовність і ефективність старіючих озброєнь, захищає особовий склад від можливих аварій та катастроф [1].

Особливостями обробки результатів метрологічних вимірювань є її проведення по вибірках обмеженого об'єму, що не дозволяє у повній мірі використовувати відомі методи математичної статистики. Помилки, що можуть бути отримані при обробці результатів метрологічних вимірювань, можуть привести до зниження бойової готовності, невиконання бойового завдання, нанесення величезних матеріальних збитків та втрат особового складу [1].

Так, наприклад [1], низька якість метрологічного забезпечення зенітно-ракетних комплексів (ЗРК) може бути основною причиною невдалих пусків (до 10%), виходу з ладу ЗРК (до 15%), збільшення часу на пошук та усунення відмов (у 10 та більше разів).

Дослідження свідчать, що для об'єктивної оцінки технічного стану ОВТ, прийняття рішення щодо його застосування, є потреба у збільшенні обсягу перевірок, юстування та регулювання на 40-60%, підвищення точності вимірювань у 1,5-2 рази [1].

**Мета статті** – проаналізувати особливості обробки результатів метрологічних вимірювань по вибірках обмеженого об'єму.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Відомо [2], що метрологічне забезпечення в Міністерстві оборони та ЗС України – це комплекс заходів, спрямованих на досягнення єдності вимірювань та достовірності контролю параметрів об'єктів вимірювань військового призначення.

Контроль параметрів зразка ОВТ, що характеризують його технічний стан, полягає в їхньому безпосередньому вимірі і зіставленні отриманих значень з даними, що наведені в технічній документації [3, 4]. Технічний стан, як сукупність властивостей зразка ОВТ, які змінюються в процесі експлуатації, характеризується відповідністю фактичних показників та/або якісних ознак, встановленим у нормативній чи технічній документації, у визначений момент часу. Технічний стан зразка ОВТ оцінюється за результатами вимірювального контролю його параметрів і функціонального діагностування [5].

Ефективність методів та засобів технічного контролю та діагностування (ТКД) залежить від оптимальності складу параметрів контролю. Вибір параметрів, що контролюються, повинен здійснюватися з використанням відомих логіко-імовірнісних методів моделювання, що враховують специфіку задач ТКД та властивості об'єкту контролю [5].

В практиці статистичного аналізу значень параметрів, що контролюються, точний вигляд закону розподілу є невідомим, а дослідник має лише деяку вибірку [6, 7]. Найбільш розповсюдженим методом відновлення закону розподілу є метод гістограми [6, 7].

Метод Парзена-Розенблатта – самий розповсюджений метод після методу гістограм [6, 7]. В основі цього методу є допущення, що щільність імовірності збільшується в точках, у безпосередній близькості від яких знаходиться найбільша кількість елементів вибірки. Однак в цьому методі я деякі труднощі, пов'язані з проблемою локальних згущень та проблемою розмірності.

Метод інтегральної оцінки щільності імовірності є доробкою методу Парзена-Розенблата для рішення задач автоматичної класифікації або розпізнавання образів в умовах скачкообразної щільності [7].

Метод стохастичної регуляризації полягає в тому, що за основу беруться значення деякого оператора регуляризації, при цьому враховується приблизний характер вхідної інформації [6, 7]. Недоліком методу є повільна сходимость, а в локальних мінімумах - відсутність сходимості взагалі. Метод оцінки максимуму правдоподібності передбачає введення оптимізаційної функції та відомих обмежень [7]. Також відома сплайн оцінка щільності імовірності [7]. Основні переваги сплайн-оцінок – відносна простота розрахунків та наступного аналізу. Основні недоліки сплайн-оцінок – вузька сфера їх застосування [7].

Перераховані методи відновлення щільності розподілу не мають чіткої класифікації, вони дуже тісно між собою пов'язані, при заданих параметрах один метод може бути абсолютно ідентичним іншому. Універсального методу оцінки щільності розподілу не існує, всі методи дають лише приблизне рішення. Слід зауважити, що перелічені вище методи дозволяють проводити оцінку щільності розподілу при достатньому об'єму вибірки.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Для оцінки щільності розподілу величини якогось параметру, значення якого отримані в ході проведення метрологічних вимірювань, будемо використовувати метод мінімізації функціоналу емпіричного ризику, який використовується при обробці вибірок обмеженого об'єму [8].

Сутність методу структурної мінімізації емпіричного ризику полягає в тому, що на першому етапі в якості початкової функції обирається груба модель. Далі ця модель поступово ускладнюється до досягнення оптимального співвідношення між точністю апроксимації емпіричного матеріалу та надійністю результату в умовах обмеженого об'єму даних. Алгоритмічна побудова наближення функції регресії полягає у пошуку функції, що мінімізує її середньо квадратичне відхилення від значень, що експериментально спостерігаються, тобто емпіричний ризик має вигляд:

$$I_{\epsilon}(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y(x_i))^2}{\sigma_i^2}, \quad (1)$$

де  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$  - незалежні пари значень функції у та її аргументу  $x$ ;  $\sigma_i^2$  - дисперсії значень  $y_i$ .

Теоретичне обґрунтування даного критерію дозволяє стверджувати, що задача відновлення залежності може бути зведена до математичної процедури вибору розмірності простору функцій, що згладжу-

ються [9]. Оптимальною є та розмірність, при якій досягається мінімум функціоналу емпіричного ризику по експериментальним даним, який відповідає мінімуму середньоквадратичної помилки згладжування. З метою зниження об'єму обчислень при визначенні параметрів залежності у якості базисних функцій будемо використовувати ортонормовані функції [9]. При використанні многочленів високого ступеню переважним є метод послідовного підвищення ступеню многочлену, що був запропонований П.Л.Чебишевим [8, 9]. У якості шуканої регресійної функції обирається поліном ступеню  $k$ :

$$y(x) = \sum_{j=0}^k \alpha_j Q_j(x), \quad (2)$$

де  $Q_j(N) = \cos(j \cdot \arccos(N))$  - поліном Чебишева ступеню  $j$ .

Для знаходження поліномів Чебишева будемо використовувати рекурентне співвідношення:

$$Q_{j+1} = 2xQ_j(x) - Q_{j-1}(x). \quad (3)$$

Сутність методу полягає у побудові многочленів різного ступеню, кожен з яких для свого мінімального ступеню мінімізує функціонал емпіричного ризику (1), а також у виборі з них поліному, для якого даний функціонал приймає найменше значення. В такому випадку функціонал емпіричного ризику (1) можна записати у вигляді (4):

$$I_{\epsilon}(y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( y_i - \sum_{j=0}^k \alpha_j y_j(x_i) \right)^2 / \sigma_i^2. \quad (4)$$

Функціонал (4) відповідає мінімуму середньоквадратичної похибки наближеної залежності і фактично визначає міру адекватності побудованого наближення значенням  $(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$ .

Для вирішення задачі відновлення поліноміальної залежності спочатку визначається ступінь шуканого поліному  $k$ , а потім у класі поліномів цього ступеню відновлюється регресія. При фіксованому ступені  $k$  мінімум функціоналу знаходиться шляхом рішення нормальної системи лінійних рівнянь з симетричною матрицею коефіцієнтів, що отримані методом найменших квадратів, відносно параметру  $\alpha$ , при якому досягається мінімум функціоналу емпіричного ризику:

$$V^T B \alpha = V B^T \delta, \quad (5)$$

де  $\alpha = (\alpha_0, \dots, \alpha_k)^T$  - шуканий вектор коефіцієнтів розкладу функції регресії по поліномам Чебишева;  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$  - вектор експериментальних значень;  $B = \{Q_j(x_i) / \sigma_i^2\}$  - матриця розміру  $(n \times (k+1))$  значень поліномів Чебишева в експериментальних точках  $x_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $\sigma_i^2$  - дисперсії значень  $y_i$ .

Вирішуючи систему рівнянь (5) відносно параметру  $\alpha$ , отримаємо:

$$\alpha^* = (B^T B)^{-1} B^T \delta. \quad (6)$$

Тоді досягнута величина функціоналу емпіричного ризику дорівнює:

$$I_e(\alpha^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( y_i - \sum_{j=0}^k \alpha_j^k Q_j(x_i) \right)^2 / \sigma_i^2. \quad (7)$$

Оцінка якості відновлення значення щільності розподілу по виборці обмеженого об'єму з використанням мінімуму емпіричного ризику визначається як:

$$J(k) = I_e(\alpha^*) / (1 - \sqrt{C}), \quad (8)$$

де  $C = (k+1)(\ln(n/(k+1))+1) - \ln \eta / n$ ,  $(1-\eta)$  – імовірність з якою справедливий вираз (8).

Величина критерію за виразом (8) залежить від ступеню поліному  $k$ . Ступінь, при якому значення критерію буде найменшим, і є оптимальним ступенем побудованої поліноміальної залежності. При цьому сама функція регресії апроксимується поліномом того ж порядку.

Необхідно зауважити, що реалізація запропонованого методу оцінки щільності розподілу можлива лише в процесі комп'ютерного моделювання. Вхідними параметрами є кількість експериментальних даних (метрологічних вимірювань), масив значень незалежної змінної (умови метрологічні вимірювання якогось параметру), масив значень залежної змінної (метрологічні вимірювання якогось параметру). Результат роботи – оптимальна ступінь поліному, масив значень його коефіцієнтів у вигляді розкладення по поліномам Чебишева та у вигляді звичайного многочлену.

## Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано використання методу мінімізації функціоналу емпіричного ризику при обробці результатів метрологічних вимірювань по вибірках обмеженого об'єму. У подаль-

ших дослідженнях необхідно провести оцінку щільності розподілу конкретного показника по результатах проведення метрологічних вимірювань.

## Список літератури

1. Кузнецов І.Б. Метрологічне забезпечення та його вплив на ефективність застосування озброєння і військової техніки в сучасних умовах / І.Б.Кузнецов, О.В.Буяло, С.О.Паиков, П.А.Шкуліна // Вісник КНУ імені Т. Шевченка. – К: КНУ, 2013. – Вип. 1 (30). – С.12–15.
2. Наказ Міністра оборони України від 15.12.2006 № 731 «Про затвердження нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності».
3. Кононов В.Б. Шляхи удосконалення системи метрологічного забезпечення Збройних Сил України / В.Б.Кононов // Системи озброєння і військова техніка. – Х: ХУПС, 2011. – № 2 (26). – С.58–60.
4. Кононов В.Б. Система метрологічного забезпечення в Збройних Сил України / В.Б.Кононов // Збірник наукових праць ХУПС. – Х: 2011. – Вип. 2 (28). – С.157–159.
5. Гаврилов А.Б. Деякі погляди на проблемні питання організації метрологічного забезпечення через призму метрологічної експертизи документації на озброєння та військовою техніку, що розробляється (модернізується) / А.Б.Гаврилов, С.В.Красинський // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 1 (21). – С. 48-54.
6. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности: Справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бушатабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989, – 607 с.
7. Сызранцев В.Н. Адаптивные методы восстановления функции плотности распределения вероятности / В.Н. Сызранцев, Я.П. Невелев, С.Л. Голофаст // Известия ВУЗов. – Машиностроение, 2006. – № 12 – С. 3-11.
8. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / Под ред. Вапника В.Н. – М.: Наука, 1984. – 816 с.
9. Сызранцев В.Н. Восстановление одномерных функциональных зависимостей по выборкам ограниченного объема / В.Н. Сызранцев, Т.Г. Змыгова, С.Л. Голофаст // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2008. – № 6. – С. 71-76.

Надійшла до редакції 8.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ВЫБОРКАМ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА

Ю.Ф. Худова, А.Н. Катасонова

В работе проанализированы известные методы оценки плотности распределения случайной величины при проведении ее измерений. Для случая проведения метрологических измерений в условиях выборки ограниченного объема предложен метод оценки плотности распределения случайной величины на основе минимизации функционала эмпирического риска. Получено выражение для функционала эмпирического риска. Метод направлен на решение задач, когда точный вид аппроксимирующей функции не известен, а ее оценка проводится по выборке ограниченного объема.

**Ключевые слова:** метрологические измерения, выборка, ограниченный объем, плотность распределения, случайная величина, функционал, эмпирический риск, обработка результатов.

## PROCESSING OF RESULTS OF METROLOGICAL MEASUREMENTS ON SAMPLES OF LIMITED VOLUME

Ju.F. Khudova, O.M. Katasonova

In work known methods of an assessment of density of distribution of a random variable are analysed at carrying out its measurements. For a case of carrying out metrological measurements in the conditions of sample of limited volume the method of an assessment of density of distribution of a random variable on the basis of minimization of a functional of empirical risk is offered. Expression for a functional of empirical risk is received. The method is directed on the solution of tasks when an exact type of approximating function not known, and its assessment is carried out on sample of limited volume.

**Keywords:** metrological measurements, sample, limited volume, distribution density, random variable, functional, empirical risk, processing of results.

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Шевяков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ЗАВДАНЬ ПЛАНУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

В статті обґрунтовується імітаційна модель задачі планування роботи різномісних спеціальних та (або) універсальних виїзних метрологічних груп

**Ключові слова:** імітаційна модель, військові засоби вимірювальної техніки метрологічне обслуговування, виїзні метрологічні групи.

### Вступ

**Постановка задачі.** Необхідність створення інформаційних технологій для розроблення інформаційно-пошукових і експертних систем обробки інформації для прийняття рішень особливо актуальна при вирішенні завдань планування метрологічного забезпечення, яке є однією з важливих частин технічного забезпечення Збройних Сил України (ЗСУ).

Експлуатація сучасних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), до складу яких входять новітні системи автоматизованого управління, радіоелектронне, електротехнічне й тепломеханічне обладнання, підтримання їх високої боєготовності, потребують постійної підтримки справного стану військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ), за допомогою яких здійснюють контроль за технічним станом зразків ОВТ, їх регулювання, налаштування, ремонт і підготовку до застосування.

Своєчасне та повне метрологічне обслуговування сучасних складних систем проводять за допомогою виїзних метрологічних груп (ВМГ). Від якості планування метрологічного обслуговування зразків ОВТ залежить стан бойової готовності військових частин ЗСУ. Тому розробка відповідних математичних моделей задач планування робіт ВМГ і методів їх розв'язання є актуальною задачею, вирішення якої спрямовано на створення спеціального математичного забезпечення підсистеми підтримки рішень щодо метрологічного забезпечення зразків ОВТ Збройних Сил України.

**Аналіз літератури.** В [1, 2] розглянуті питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Математичні моделі планування спеціалізованих та (або) універсальних виїзних метрологічних груп наведені в [3]. Методи планування роботи виїзних метрологічних груп викладені в [4, 5]. Проте в наведених в статтях не розглядалися питання, що пов'язані з обґрунтуванням достовірності розроблених математичних моделей

визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху ВМГ. Для підтвердження достовірності математичних моделей завдань планування метрологічного обслуговування доцільно використовувати імітаційне моделювання.

**Метою статті** є обґрунтування імітаційної моделі розв'язання задач планування роботи різномісних спеціальних та (або) універсальних ВМГ в інформаційній розрахунковій системі метрологічного обслуговування.

### Основний матеріал

Розглянемо математичну модель задачі планування розподілу різномісних ВМГ й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків ОВТ, яка описується співвідношеннями [3]:

$$T_{\text{Моп}}^{\text{PT}} = \max_{\substack{1 \leq p \leq P_0 \\ 1 \leq k \leq a_p}} \left[ \sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq m_0} \left( \frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_{pm}} \sum_{u \in U} z_{iuj} t_{pj} \right) + L(Q_{pk})/V_p \right] \rightarrow \min_{\{z_{iuj}\}, \{S_{pk}\}, \{Q_{pk}\}}$$

$$S_{pk_1} \cap S_{pk_2} = \emptyset; \quad k_1 \neq k_2; \quad \bigcup_{p=1}^{P_0} \bigcup_{k=1}^{a_p} S_{pk} = I;$$

$$J_{p_1 m_1} \cap J_{p_2 m_2} = \emptyset; \quad m_1 \neq m_2; \quad \bigcup_{p=1}^{P_0} \bigcup_{m=1}^{m_0} J_{pm} = J;$$

$$\sum_{p=1}^{P_0} \sum_{k=1}^{a_p} \left[ c_{p0} L(Q_{pk}) + \sum_{i \in S_{pk}} \left( \sum_{j \in J_{pm}} \sum_{u \in U} z_{iuj} c_{pj} \right) \right] \leq C_0; \quad (1)$$

$$\sum_{p=1}^{P_0} \sum_{k=1}^{a_p} \left[ \sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq m_0} \left( \frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_{pm}} \sum_{u \in U} z_{iuj} t_{pj} \right) \right] \leq T_0;$$

$$\sum_{j=1}^{|J|} z_{iuj} \geq \sum_{j=1}^{|J|} (q_{iuj} - \theta_u d_{iuj}); \quad i = \overline{1, |I|}; \quad u = \overline{1, |U|};$$

$$0 \leq z_{iuj} \leq q_{iuj}; \quad i = \overline{1, |I|}; \quad u = \overline{1, |U|}; \quad j = \overline{1, |J|}.$$

В цій математичній моделі відомими будемо вважати такі постійні параметри:  $I = [1, 2, \dots, I_0]$  – множина місць дислокації військових частин (підрозділів), які плануються для метрологічного обслуговування, де номер 1 відповідає місцю дислокації ВМГ та одному із військових частин або підрозділу;  $I_0$  – кількість всіх місць дислокації;  $J = \{1, 2, \dots, |J|\}$  – множина ВЗВТ усіх типів;  $J_m; m = \overline{1, m_0}$  – множина ВЗВТ за  $m$ -м видом метрологічного обслуговування;

$$J_{pm} = \begin{cases} J_m, \text{ якщо ВМГ } p\text{-го типу спроможна} \\ \text{провести метрологічне обслуговування} \\ m\text{-го виду;} \\ \emptyset, \text{ у протилежному випадку;} \end{cases}$$

$U = \{1, 2, \dots, |U|\}$  – множина видів зразків ОБТ;

$d_{iuj}; i \in I; u \in U; j \in J_{од}$  – сумарна кількість ВЗВТ  $j$ -го

типу зразків ОБТ  $u$ -го виду для  $i$ -ої військової частини (підрозділу), при чому, якщо зразки ОБТ  $u$ -го виду відсутні у військовій частини (підрозділу), то  $d_{iuj} = 0$ ;  $q_{iuj}; i \in I; u \in U; j \in J_{од}$  – сумарна кількість ВЗВТ  $j$ -го типу зразків ОБТ  $u$ -го виду для  $i$ -ої військової частини (підрозділу), яка є у замовленні на метрологічне обслуговування;  $\theta_u; u \in U$  – коефіцієнт, за допомогою якого здійснюється оцінювання укомплектованості придатними до застосування ВЗВТ зразків ОБТ  $u$ -го виду;  $b_{pm}; m = \overline{1, m_0}$  – кількість номерів обслуговування для ВМГ  $p$ -го типу за  $m$ -м видом метрологічного обслуговування;  $P_0$  – кількість типів ВМГ;  $a_p; p = \overline{1, P_0}$  – кількість ВМГ  $p$ -го типу;  $t_{pj}; p = \overline{1, P_0}; j \in J$  – усереднена норма часу на метрологічне обслуговування одного ВЗВТ  $j$ -го типу обслугою у складі ВМГ  $p$ -го типу;  $c_{pj} = d_p t_{pj} + q_{pj}$ ,  $j \in J$  – вартість витрат на проведення калібрування

(повірки) одиниці ВЗВТ  $j$ -го типу, де  $d_p$  – вартість однієї людино-години;  $q_{pj}$  – вартість витратних матеріалів на проведення калібрування (повірки) одиниці ВЗВТ  $j$ -го типу метрологічного обслуговування обслугою ВМГ  $p$  типу;  $c_{p0}; p = \overline{1, P_0}$  – тариф транспортування ВМГ  $p$ -го типу;  $C_0$  – виділені сумарні кошти для метрологічного обслуговування зразків ОБТ для усіх військових частин (підрозділів);  $T_0$  – сумарний фонд робочого часу щодо метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) усіма ВМГ;  $h_{in}; i = \overline{1, |I|}; n = \overline{1, |I|}$  – відстань між  $i$ -ою та  $n$ -ою військовими частинами;  $m_0$  – кількість видів метрологічного обслуговування;  $V_p; p = \overline{1, P_0}$  – середня швидкість пересування ВМГ  $p$ -го типу.

Крім постійних параметрів застосовуються змінні:  $z_{iuj}; i \in I; u \in U; j \in J$  – кількість ВЗВТ  $j$ -го типу зразків ОБТ  $u$ -го виду для  $i$ -ої військової частини, яка планується для метрологічного обслуговування;  $S_{pk} = [i_{1k}^{(p)}, i_{2k}^{(p)}, \dots, i_{n_k k}^{(p)}]$ ;  $p = \overline{1, P}$ ;  $k = \overline{1, a_p}$  –

множина місць дислокації військових частин у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню  $k$ -ою ВМГ  $p$ -го типу за результатами випробувань;

$$Q_{pk} = [1, i_{1k}^{(p)}, i_{2k}^{(p)}, \dots, i_{n_k k}^{(p)}, 1]; p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}$$

замкнений маршрут метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) у регіоні  $k$ -ою ВМГ  $p$ -го типу, котрий проходить через усі пункти множини  $S_{pk}$  тільки один раз, а довжина маршруту

$$L(Q_{pk}) = h_{1, i_{1k}^{(p)}} + h_{i_{1k}^{(p)}, i_{2k}^{(p)}} + \dots + h_{i_{n_k k}^{(p)}, 1}.$$

В імітаційній моделі, крім того, будемо використовувати:  $T_{\min}$  – мінімальний загальний час на метрологічне обслуговування різнотипними ВМГ за результатами випробувань (спочатку достатньо велике позитивне число);  $T_{\text{моп}}$  – загальний час на метрологічне обслуговування різнотипними ВМГ за результатами чергового випробування;  $\Psi$  – випадкову величину, яка має рівномірний закон розподілу на інтервалі  $(0, 1)$ ; ДВЧ ( $\Psi$ ) – датчик випадкових чисел, що відповідає рівномірному закону розподілу на інтервалі  $(0, 1)$ ;  $M$  – достатньо велике позитивне число;  $\varepsilon$  – достатньо мале позитивне число;  $N_1$  – кількість випробувань випадкових реалізацій щодо визначення необхідної кількості замовлень;  $N_2$  – кількість випробувань випадкових реалізацій щодо визначення мінімального часу метрологічного обслуговування  $T_{\min}$ ;  $T_{\text{моп}}^{\text{пт}}$  – мінімальний загальний час на метрологічне обслуговування зразків ОБТ у регіоні, отриманий як рішення задачі (1) за універсальним методом [5].

В імітаційній моделі пропонується здійснювати випадковий пошук необхідної кількості замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОБТ, яка забезпечує позитивну оцінку стану метрологічного забезпечення військових частин (підрозділів), випадковий пошук розподілу різнотипних ВМГ для метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів), визначення відповідних маршрутів їх руху за методом гілок та границь та порівняння значень часу на метрологічне обслуговування зразків ОБТ з метою визначення найкращого варіанта пошуку.

В якості результату імітаційного моделювання обирається мінімальний загальний час метрологічного обслуговування зразків ОБТ стосовно заданої кількості випадкових реалізацій. Імітаційну модель побудуємо у складі шести функціональних блоків.

Для визначення випадкового вибору необхідної кількості замовлень на метрологічне обслуговуван-

ня ВЗВТ зразків ОБТ, яка забезпечує позитивну оцінку стану метрологічного забезпечення військових частин (підрозділів) стосовно кількості випробувань  $N_1$ , будемо використовувати блок 1. Для визначення випадкового вибору розподілу різнотипних ВМГ для метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) використовується блок 2. Знаходження найкоротших замкнених маршрутів руху кожної ВМГ за визначеним у попередньому блоці розподілом різнотипних ВМГ за допомогою метода гілок та границь здійснюється у блоці 3. Обчислення загальних вартісних витрат на метрологічне обслуговування та перевірка на їх допустимість здійснюється у блоці 4. Обчислення значень загального часу метрологічного обслуговування, їх порівняння та визначення найменшого значення стосовно кількості випробувань  $N_2$  виконуються у блоці 5, а порівняння результату імітаційного дослідження  $T_{min}$  із результатом рішення задачі  $T_{Моп}^{PT*}$  - у блоці 6.

Наведемо зміст імітаційної моделі.

В блоці 1 виконуються такі операції. Генеруються випадкові числа  $\{\Psi_{iuj}\}; i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}; j = \overline{1, |J|}$  рівномірно розподіленої на інтервалі (0,1) випадкової величини  $\Psi$  за допомогою датчика випадкових чисел ДВЧ( $\Psi$ ) та визначаються такі параметри:

$$\lambda_{iuj} := \Psi_{iuj} q_{iuj}; i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}; j = \overline{1, |J|}; \quad (2)$$

$$\mu_{iu} := \sum_{j=1}^{|J|} \lambda_{iuj}; i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}; \quad (3)$$

$$\gamma_{iu} := \sum_{j=1}^{|J|} (q_{iuj} - \theta_u d_{iuj}); i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}; \quad (4)$$

$$\tau_{im} := \frac{1}{K_m} \sum_{p=1}^{P_0} \left( \frac{1}{b_{pm}} \sum_{u=1}^{|U|} \sum_{\substack{j \in I \\ j_{pm} \neq \emptyset}} t_{pj} \lambda_{iuj} \right); i = \overline{1, |I|}; m = \overline{1, m_0}; \quad (5)$$

$$\tau_i = \max_{1 \leq m \leq m_0} \tau_{im}; i = \overline{1, |I|}. \quad (6)$$

Якщо знайдені параметри  $\{\lambda_{iuj}\}$  задовольняють співвідношенням

$$\sum_{i=1}^{|I|} \tau_i \leq T_0; \quad (7) \quad \mu_{iu} \geq \gamma_{iu}; i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}, \quad (8)$$

то в блоці 1 визначається необхідна кількість замовлень за формулами:

$$z_{iuj} := \lfloor \lambda_{iuj} \rfloor; i = \overline{1, |I|}; u = \overline{1, |U|}; j = \overline{1, |J|}; \quad (9)$$

$$r_{ij} = \sum_{u=1}^{|U|} z_{iuj}; i = \overline{1, |I|}; j = \overline{1, |J|}. \quad (10)$$

У протилежному випадку випробування повторюються до виконання співвідношення (7) – (8). Результатом виконання випробувань у блоці 1 є

множина замовлень  $\{r_{ij}\}; i = \overline{1, |I|}; j = \overline{1, |J|}$  на метрологічне обслуговування ВЗВТ кожного типу для кожної військової частини (підрозділу).

В блоці 2 виконується випадковий вибір розподілу різнотипних ВМГ таким чином.

1. Спочатку здійснюється випадковий вибір типу ВМГ. Для цього отримуються випадкові числа  $\Psi_\ell, \ell = 1, 2, \dots$  рівномірно розподіленої на інтервалі (0,1) випадкової величини  $\Psi$  за допомогою ДВЧ ( $\Psi$ ). Якщо випадкове число  $\Psi_\ell$  потрапляє до інтервалу  $((p-1)/P_0, p/P_0)$ , то здійснюється перевірка, чи не був цей тип ВМГ обраний раніше. Якщо ні, то обирається ВМГ  $p$ -го типу, після чого даний тип виключається із розгляду для таких реалізацій випробувань блоку 1:  $P := P \setminus p$ , де  $P = \{1, \dots, P_0\}$ . У протилежному випадку розглядається такий тип ВМГ:  $p := p+1$ . Якщо всі типи ВМГ розглянуті, то операції, які передбачені в блоці 2 виконуються спочатку.

2. Далі здійснюється випадковий вибір місць дислокації військових частин (підрозділів). Визначаються випадкові числа  $\Psi_i, i = 1, 2, \dots$  рівномірно розподіленої на інтервалі (0,1) випадкової величини  $\Psi$  за допомогою ДВЧ ( $\Psi$ ). Якщо випадкове число  $\Psi_i$  потрапляє до інтервалу  $((i-1)/I_0, i/I_0)$ , то проводиться перевірка, чи не було місце дислокації за  $i$ -м номером обране раніше. Якщо ні, то з'ясовується, чи спроможна ВМГ  $p$ -го типу проводити метрологічне обслуговування ВЗВТ зразків ОБТ, які ще не були обслуговувані у військовій частині, що розглядається. У разі неспроможності ВМГ  $p$ -го типу проводити відповідне метрологічне обслуговування обирається інший тип ВМГ. У протилежному випадку здійснюється перевірка, чи використовувалась ВМГ  $p$ -го типу раніше. Якщо ні, то місце дислокації за  $i$ -м номером закріплюється за даною ВМГ, і у разі метрологічного обслуговування у повному обсязі місце дислокації за  $i$ -м номером виключається з списку місць дислокації військових частин (підрозділів):  $I := I \setminus i$ . Якщо ВМГ даного типу використовувалась раніше, то обирається інший тип ВМГ. Випадкові реалізації у блоці 2 виконуються доки, поки не будуть обслуговані всі військові частини (підрозділи), тобто поки множина  $I$  не стане пустою:  $I = \emptyset$ . Результатом здійснення випробувань у блоці 2 є множини місць дислокації  $\{S_{pk}\}; p = \overline{1, P_0}; k = \overline{1, a_p}$  військових частин у регіоні, які розподілені за кожною ВМГ.

В блоці 3 визначаються найкоротші замкнуті маршрути руху кожної ВМГ. У відповідності зі знайденим у блоці 2 розподілом місць дислокації військових частин (підрозділів) для кожної ВМГ вирішується задача комівояжера методом гілок та границь та визначається найкоротший замкнутий маршрут її руху  $\{Q_{pk}\}; p = \overline{1, P}; k = \overline{1, a_p}$ .

В блоці 4 обчислюються загальні вартісні витрати для знайдених змінних  $\{S_{pk}\}$  та  $\{Q_{pk}\}$  в блоках 2 та 3 за формулою

$$C_{\text{заг}} = \sum_{p=1}^{P_0} \sum_{k=1}^{a_p} \left[ c_{p0} L(Q_{pk}) + \sum_{i \in S_{pk}} \left( \sum_{\substack{j \in J_{pm} \\ J_{pm} \neq \emptyset}} r_{ij} c_{pj} \right) \right] \quad (11)$$

та проводиться наступна перевірка: якщо загальні вартісні витрати не перевищують виділених сумарних коштів, то здійснюється перехід до блоку 5. У протилежному випадку знайдене рішення не задовольняє умовам задачі, і операції, які виконуються в блоках 1 – 3, повторюються.

В блоці 5 здійснюється обчислення загального часу метрологічного обслуговування, його порівняння з попереднім значенням та визначення найменшого значення стосовно кількості випробувань. Загальний час метрологічного обслуговування для знайдених  $\{S_{pk}\}$  та  $\{Q_{pk}\}$  обчислюється так:

$$T_{\text{моп}} = \max_{\substack{1 \leq p \leq P_0 \\ 1 \leq k \leq a_p}} \left[ \sum_{i \in S_{pk}} \max_{1 \leq m \leq m_0} \left( \frac{1}{b_{pm}} \sum_{j \in J_{pm}} r_{ij} t_{pj} \right) + \frac{1}{V_p} L(Q_{pk}) \right] \quad (12)$$

та порівнюється із результатом попередньої реалізації: якщо  $T_{\text{мін}} \leq T_{\text{моп}}$ , то здійснюється порівняння кількості проведених реалізацій імітаційної моделі із заданою кількістю випробувань  $N_2$ . Якщо  $T_{\text{мін}} > T_{\text{моп}}$ , то запам'ятовується кращий результат випробувань, а саме  $T_{\text{мін}} := T_{\text{моп}}$  та здійснюється чистка масивів:  $S_{pk} := \emptyset$ ;  $Q_{pk} := \emptyset$ ;  $p = \overline{1, P_0}$ ;  $k = \overline{1, a_p}$ . У разі, якщо кількість проведених реалізацій менше  $N_2$ , то пошук рішення продовжується, інакше здійснюється перехід до блоку 6.

В блоці 6 порівнюється результат імітаційного моделювання  $T_{\text{мін}}$  із рішенням  $T_{\text{моп}}^{\text{пт}^*}$  задачі. Якщо  $T_{\text{моп}}^{\text{пт}^*} \leq T_{\text{мін}}$  або  $|T_{\text{моп}}^{\text{пт}^*} - T_{\text{мін}}| < \varepsilon$ , то це свідчить на користь достовірності моделі (1). У протилежному випадку, якщо  $T_{\text{моп}}^{\text{пт}^*} > T_{\text{мін}}$ , то слід вважати, що модель (1) не є достовірною.

Для реалізації розробленої моделі будемо використовувати таку процедуру (схема – на рис. 1).

Крок 1. Введення вхідних параметрів:

$I$ ;  $I_0$ ;  $J$ ;  $P$ ;  $J_m$ ;  $J_{pm}$ ;  $U$ ;  $d_{ij}$ ;  $q_{ij}$ ;  $\theta_u$ ;  $b_{pm}$ ;  $P_0$ ;  $a_p$ ;  $t_{pj}$ ;  $c_{pj}$ ;  $c_{p0}$ ;  $C_0$ ;  $M$ ;  $N_1$ ;  $N_2$ ;  $T_0$ ;  $T_{\text{моп}}^{\text{пт}^*}$ ;  $h_{in}$ ;  $m_0$ ;  $V_p$ ;  $\varepsilon$ ;  $J_{mi} := \{j | j \in J_m \wedge r_{ij} \neq 0\}$ ;  $S_{pk} := \emptyset$ ;  $Q_{pk} := \emptyset$ ;  $T_{\text{моп}} := 0$ ;  $T_{\text{мін}} := M$ ;  $\sigma_1 := 0$ ;  $\sigma_2 := 0$ ;  $m = \overline{1, m_0}$ ;  $i = \overline{1, I_0}$ ;  $n = \overline{1, I_0}$ ;  $u = \overline{1, |U|}$ ;  $p = \overline{1, P_0}$ ;  $k = \overline{1, a_p}$ .

Крок 2. Розглядається 1 ітерація блоку 1:  $\sigma_1 := 1$ .

Крок 3. Визначення випадкових чисел  $\{\Psi_{iuj}\}$  за ДВЧ ( $\Psi$ ).

Крок 4. Обчислення параметрів за формулами (2) – (6).

Крок 5. Якщо нерівності (7) – (8) задовольняються, то перехід до кроку 9.

Крок 6. Перевірка на кількість проведених реалізацій блоку 1: якщо  $\sigma_1 < N_1$ , то перехід до кроку 8.

Крок 7. Збільшення кількості випробувань:  $N_1 := 2N_1$ ; перехід до кроку 2.

Крок 8. Наступне випробування:  $\sigma_1 := \sigma_1 + 1$ ; перехід до кроку 3.

Крок 9. Визначення необхідної кількості замовлень згідно співвідношень (9) – (10).

Крок 10. Розглядається 1-й тип ВМГ:  $p := 1$ .

Крок 11. Визначення випадкових чисел  $\{\Psi_{\ell}\}$  за ДВЧ ( $\Psi$ ).

Крок 12. Визначення інтервалу потрапляння випадкової величини: якщо  $\Psi < p/P_0$ , то здійснюється перехід до кроку 15.

Крок 13. Розглядається наступний тип ВМГ:  $p := p + 1$ .

Крок 14. Перевірка: чи всі типи ВМГ розглянуті: якщо  $p < P_0$ , то здійснюється перехід до кроку 12.

Крок 15. Перевірка: чи була розглянута ВМГ  $p$ -го типу, а саме чи  $p \in P$ . Якщо  $p \in P$ , то здійснюється перехід до кроку 13.

Крок 16. Виключення типу ВМГ за номером  $p$  зі списку:  $P := P \setminus p$ .

Крок 17. Розглядається перша ВМГ  $p$ -го типу:  $k := 1$ .

Крок 18. Розглядається перше місце дислокації військових частин (підрозділів):  $i := 1$ .

Крок 19. Визначення випадкових чисел  $\{\Psi_i\}$  за ДВЧ ( $\Psi$ ).

Крок 20. Визначення інтервалу потрапляння випадкової величини: якщо  $\Psi < i/I_0$ , то здійснюється перехід до кроку 22.

Крок 21. Розглядається наступне місце дислокації військових частин (підрозділів):  $i := i + 1$ .

Крок 22. Перевірка: чи було розглянуто  $i$ -те місце дислокації. Якщо так, здійснюється перехід до кроку 21.

Крок 23. Перевірка спроможності проводити відповідне метрологічне обслуговування виїзною метрологічною групою  $p$ -го типу військової частини (підрозділу) згідно  $i$ -го номеру дислокації. Якщо ні, то здійснюється перехід до кроку 10.

Крок 24. Перевірка: чи проводилось метрологічне обслуговування військової частини (підрозділу) згідно  $i$ -го номеру дислокації ВМГ  $p$ -го типу. Якщо так, то здійснюється перехід до кроку 10.

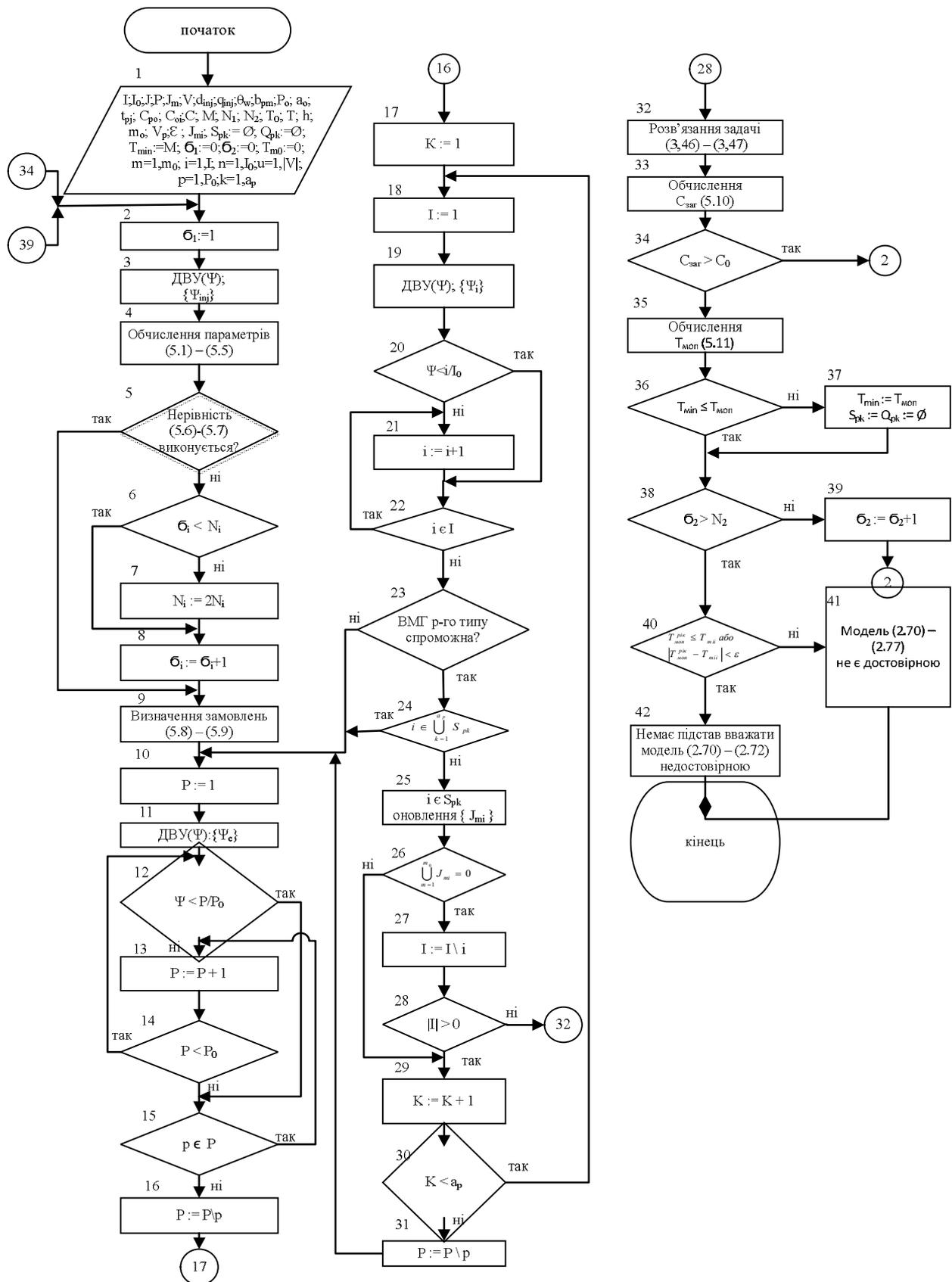


Рис. 1. Схема процедури

Крок 25. Місце дислокації за  $i$ -м номером закріплюється за даною ВМГ. Оновлення масивів  $\{J_{mi}\}$ ;  $m = 1, m_0$ .

Крок 26. Перевірка: чи проведено метрологічне обслуговування у неповному обсязі ВЗВТ з місцем дислокації за  $i$ -м номером. Якщо ні, то здійснюється перехід до кроку 29.

Крок 27. Місце дислокації за  $i$ -м номером виключається зі списку МО:  $I := I \setminus i$ .

Крок 28. Перевірка: чи розглянуті всі місця дислокації. Якщо так, то переходимо до кроку 32.

Крок 29. Розглядається наступна ВМГ даного типу:  $k := k + 1$ .

Крок 30. Перевірка: чи розглянуті всі ВМГ даного типу. Якщо  $k < a_p$ , то переходимо до кроку 18.

Крок 31. ВМГ  $p$  – го типу виключаються зі списку:  $P := P \setminus p$ . Здійснюється перехід до кроку 10.

Крок 32. Розв'язання задачі комівояжера та визначення найкоротшого маршруту руху  $\{Q_{pk}\}$ ;  $p = \overline{1, P}$ ;  $k = \overline{1, a_p}$  для кожної ВМГ.

Крок 33. Обчислення загальних вартісних витрат  $C_{заг}$  для знайдених  $\{S_{pk}\}$  та  $\{Q_{pk}\}$  за (11).

Крок 34. Перевірка на допустимість отриманих загальних витрат: якщо  $C_{заг} > C$ , то здійснюється перехід до кроку 2.

Крок 35. Обчислення часу метрологічного обслуговування  $T_{моп}$  для  $\{S_{pk}\}$  та  $\{Q_{pk}\}$  за (12).

Крок 36. Порівняння значень часу метрологічного обслуговування щодо даної та попередньої випадкових реалізацій процедури: якщо  $T_{min} \leq T_{моп}$ , то здійснюється перехід до кроку 38.

Крок 37. Запам'ятовується кращий результат випробувань, а саме  $T_{min} := T_{моп}$ , та здійснюється чистка масивів для наступних випробувань:  $S_{pk} := \emptyset$ ;  $Q_{pk} := \emptyset$ ;  $p = \overline{1, P}$ ;  $k = \overline{1, a_p}$ .

Крок 38. Перевірка на кількість проведених реалізацій процедури: якщо  $\sigma_2 > N_2$ , то здійснюється перехід до кроку 40.

Крок 39. Перехід до наступної реалізації процедури:  $\sigma_2 := \sigma_2 + 1$  та переходимо до кроку 2.

Крок 40. Перевірка достовірності моделі (1): якщо  $T_{моп}^{RT*} \leq T_{min}$  або  $|T_{моп}^{RT*} - T_{min}| < \varepsilon$ , то здійснюється перехід до кроку 42.

Крок 41. Модель (1) не є достовірною.

Крок 42. Немає підстав вважати модель (1) недостовірною.

## Висновки

1. В статті обґрунтована імітаційна модель розв'язання задач планування роботи різнотипних спеціальних та (або) універсальних ВМГ в інформаційній розрахунковій системі метрологічного обслуговування.

2. Імітаційна модель дозволяє визначити оптимальний розподіл різнотипних ВМГ й відповідних маршрутів їх руху за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування зразків ОБТ.

3. Функціональні блоки запропонованої імітаційної моделі, розроблені з використанням методологічних основ інформаційних технологій, дозволяють здійснювати оцінювання достовірності інших математичних моделей планування робіт метрологічних підрозділів ЗСУ.

## Список літератури

1. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння ЗС України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації виміральної техніки у ЗС України” від 1.06.2001 № 79.

2. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України” від 14.05.2007 № 2.

3. Шевяков Ю.І. Математична модель планування універсальних виїзних метрологічних груп / Ю.І. Шевяков // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3 (47). – С. 120-122.

4. Шевяков Ю.І. Метод визначення оптимальних плану розподілу й маршрутів руху різнотипних виїзних метрологічних груп / Ю.І. Шевяков // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 2(42). – С. 151-157.

5. Шевяков Ю.І. Метод планування роботи спеціалізованих метрологічних груп в умовах достатньої кількості фінансових і часових ресурсів / Ю.І. Шевяков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4(21). – С. 117-120.

Надійшла до редколегії 8.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ю.И. Шевяков

В статье обосновывается имитационная модель задачи планирования работы разнотипных специальных и (или) универсальных выездных метрологических групп.

**Ключевые слова:** имитационная модель, военные средства измерительной техники, метрологическое обслуживание, выездные метрологические группы.

## USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN SIMULATION MODELING TASK SCHEDULING OF METROLOGICAL SERVICE

Yu.I. Sheviakov

The article explains the simulation model of planning tasks of the different types of special and (or) the purpose of visiting groups of metrology.

**Keywords:** simulation model, military means of measuring equipment, metrology, Servicing of, offsite metrology group.

УДК 004.93

І.Ю. Юзова, Д.В. Прибильнов

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## НАВЧАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА РОЗМАХОМ КРИЛ, ПЛОЩЕЮ КРИЛА, КУТОМ СТРІЛОВИДНОСТІ, КОЕФІЦІЄНТОМ КОМПОНОВКИ

*У даній статті розглянуто навчання, що дозволяє визначити тип літального апарату в автоматичному режимі. В основу навчання покладено нейронну мережу розпізнавання повітряних об'єктів за розмахом крил, площею крила, кутом стрілоподібності, коефіцієнтом компоновки. Головним завданням є точне визначення належності літального апарату до того чи іншого типу. Навчання передбачає створення вибірок, що будуть сигналізувати про розпізнавання того чи іншого літального апарату.*

**Ключові слова:** розпізнавання повітряних об'єктів, метод навчання нейронної мережі, визначення типу літального апарату, обробка зображень.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку безпілотних літальних апаратів існує багато методів автоматичної обробки цифрових зображень з метою визначення кількісного та якісного складу об'єктів, які базуються на аеродромах. Але методів, що дозволяють у автоматичному режимі визначити кількісний склад та тип літальних апаратів із високою імовірністю – на сьогодні не існує. Загальні методи, що пропонується використовувати для розпізнавання наземних об'єктів не дозволяють забезпечити високу імовірність правильного віднесення до того чи іншого типу літального апарату через їх загальний характер та не специфічність використання при рішенні задач даного класу [1 – 4].

Для того, щоб підвищити імовірність правильного розпізнавання повітряних об'єктів, що знаходяться на аеродромі, необхідно створити новий метод, що буде ґрунтуватися на характерних особливостях літальних апаратів, а саме: розмаху крила, площі крила, куті стрілоподібності та коефіцієнті компоновки. Зважаючи на можливості по роздільній здатності сучасних знімків, отриманих шляхом аерофотозйомки, можливим є визначення вище зазначених параметрів у автоматичному режимі, але, похибка вимірювань завжди залишається. Для того, щоб не накопичувати похибку та вилучити вади вимірювань у чотирьох випадках, необхідним є використання нейронних мереж для розпізнавання об'єктів на отриманих знімках загальні базові принципи за якими буде проходити навчання перцептрона, його структура та базові елементи (структура) також є визначеними.

Для завершення процедури навчання необхідним є створення вибірки для навчання, обґрунтування необхідної кількості прикладів та створення контрольної вибірки, що буде свідчити про готовність мережі до виконання покладених на неї завдань розпізнавання із заданою точністю.

### Результати досліджень

Головною особливістю навчання даної нейронної мережі є те, що на вхід подається бінарна матриця строка, що була отримана у результаті запропонованого перетворення дробного числа, яке вказує на отримані показання розмаху крил у метрах.

Для вирішення цієї задачі необхідно звернутися до початкових даних, а саме звернути увагу на їх вихідний стан. Якщо розглядати розмах крил повітряного об'єкту, то він вимірюється у метрах. Наприклад, Су 27 має розмах крила, що дорівнює 14,7 м. Серед літаків подібного класу цей параметр змінюється від 8,78 у літака J-10 до 15,9 у літака Су-33КУБ, отже бачимо, що різниця складає 7,12 метра. Якщо брати літаки суміжних типів, то різниця більша значна. Тобто, головною задачею навченої нейронної мережі є точна вказівка приналежності літального апарату до того чи іншого типу. Нажаль, використовуючи лише цей параметр, вказати точно назву літального апарату не можливо через те, що багато літаків мають розходження у значенні розмаху крила лише порядку 0,01 метра. Якщо розглядати у якості прикладу, раніше поставлену задачу розпізнавання 28 повітряних об'єктів, що знаходяться на аеродромі базування, то необхідною умовою навчання нейронної мережі є створення вибірки для навчання.

На вході нейронної мережі 136 біт бінарної послідовності, які мають вигляд матриці строки і змінюються відповідно до зміни значення параметру, що розраховуються за допомогою машинних методів [1,2]. Не має особливої різниці чи це розмах крила, площа крила, коефіцієнт стрілоподібності чи коефіцієнт компоновки. Тобто на вході 136 нейронів вхідного шару. На виході маємо 28 нейронів вихідного шару, які будуть сигналізувати про розпізнавання того чи іншого літального апарату.

Вибірка для навчання обов'язково буде складатися із наступних елементів:

по одному прикладу на кожен об'єкт, що розпізнається (28 вихідних еталонних значень);

по одному прикладу із максимально можливим значенням похибки серед об'єктів, що розпізнаються (28 вихідних значень із похибкою);

по одному прикладу із спонтанним значенням похибки (28 вихідних значень із похибкою).

Отже маємо, що для навчання нейронної мережі, достатньою умовою є створення трьох прикладів для кожного повітряного об'єкту, що розпізнається. У конкретному випадку із 28 повітряних об'єктів розмір вибірки складатиме 84 приклади, тобто для навчання чотирьох типових нейронних мереж необхідно щонайменше 336 прикладів вихідних даних.

Для розуміння значення похибки між об'єктами, що розпізнаються, необхідно провести ряд розрахунків. Кінцеві дані можливо отримати лише за умови повної визначеності кінцевої множини об'єктів розпізнавання.

У табл. 1 наведено та відсортовано дані по повітряним об'єктам у порядку їх зростання за розмахом крила. Різниця у розмаху крила складає 63,82 м.

Маючи кількість повітряних об'єктів, можливо знайти середню відстань між ознаками, яка дорівнює:

$$L_c = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{N}$$

Можливим є розрахунок середньої відстані для кожної пари параметрів.

У розглянутому випадку  $L_c = 2,28$  м, що є неприпустимим через накладання значення параметрів об'єкту один на одний у більшості випадків.

Отримаємо розрахунок індивідуальної відстані параметру розмаху крила для кожного з літаків.

Відповідно до виразу [3].

$$L_i = \frac{R_{i+1} - R_i}{2}$$

де  $i = 0, \dots, N$ , інтервал  $[a, b]$  області можливих значень, що набуває параметр «розмах крил» обчислюється за формулою [4].

$$a_i = R_i - L_i;$$

$$b_i = R_i + L_{i+1},$$

де  $i = 0, \dots, N$  для  $R_0$  та  $i = N$  для значення  $L_i = L_c$ .

Результати розрахунків за даними формулами наведені у табл. 2.

Таблиця 1

Еталонні параметри розпізнавання за чотирма параметрами

Назва літака	Значення характеристики			
	Розмах	Площа	Кут стріловидності	Коефіцієнт компоновки
Альфа-джет	9,1	17,5	30	0,687
Л-39	9,12	18,8	0	0,751
Ф-16	9,45	28,4	40	0,628
Л-15	9,48	21,5	31	0,772
Ласта-95	9,7	13	0	0,88
М-346	9,72	23,52	25	0,845
Як-130	9,72	23,5	31,5	0,864
МиГ-АТ	10	14	3	0,83
Рафаль	10,09	46	50	0,707
Ф-35	10,67	42,74	34	0,683
МиГ-29	11,36	38	42	0,655
Ф-22	13,56	78,04	42	0,716
Т-50	14	90	47	0,686
Су-25	14,36	33,7	20	0,934
И-58	14,5	30,3	0	1,017
Су-27	14,698	62	42	0,67
А-10	17,53	47,01	0	1,078
Ан-26	29,2	75	0	1,226
С-130	40,41	162,12	0	1,356
В-1В	41	181,16	15	0,939
А400М	42,4	221,5	10	0,940
Ан-70	44,06	204	15	1,081
С-17	51,74	353,03	20	0,97
ІЛ-76	55,5	300	25	1,083
Ту-160	56	232	20	1,029
В-52	56,39	371,6	35	1,149
С-5	67,88	575,98	16	0,890
Ан-124	73,3	726,5	21	1,060

Таблиця 2

Значення похибки та інтервалів максимальної зміни параметрів навчання

Тип літака	Розмах крила	Відстань між ознаками	Інтервал можливих значень	
Альфа-джет	9,1	2,27	6,82	9,11
Л-39	9,12	0,01	9,11	9,285
Ф-16	9,45	0,165	9,285	9,465
Л-15	9,48	0,015	9,465	9,59
Ласта-95	9,7	0,11	9,59	9,71
М-346	9,72	0,01	9,71	9,72
Як-130	9,72	0	9,72	9,86
МиГ-АТ	10	0,14	9,86	10,045
Рафаль	10,09	0,045	10,045	10,38
Ф-35	10,67	0,29	10,38	11,015
МиГ-29	11,36	0,345	11,015	12,46
Ф-22	13,56	1,1	12,46	13,78
Т-50	14	0,22	13,78	14,18
Су-25	14,36	0,18	14,18	14,43
И-58	14,5	0,07	14,43	14,599
Су-27	14,698	0,099	14,599	16,114
А-10	17,53	1,416	16,114	23,365
Ан-26	29,2	5,835	23,365	34,805
С-130	40,41	5,605	34,805	40,705
В-1В	41	0,295	40,705	41,7
А400М	42,4	0,7	41,7	43,23
Ан-70	44,06	0,83	43,23	47,9
С-17	51,74	3,84	47,9	53,62
ІЛ-76	55,5	1,88	53,62	55,75
Ту-160	56	0,25	55,75	56,195
В-52	56,39	0,195	56,195	62,135
С-5	67,88	5,745	62,135	70,59
Ан-124	73,3	2,71	70,59	75,57

Відповідно до табличних значень та запропонованої форми перетворень у бінарну матрицю-строку необхідно скласти приклади для навчання нейронних мереж. Остаточна кількість прикладів для навчання становитиме менше ніж 336.

Аналогічним способом проводяться розрахунки інтервалів навчання для трьох інших параметрів. Але залишається невизначеною ситуація, коли два та більше літаки мають однаковий параметр, а тобто нульову відстань між ознаками. Наприклад, А-10, Ан-26, С-130 за кутом стріловидності або М-346 та Як-130 за розмахом крила. У такому випадку об'єкти слід апріорно визначати як однакові, зменшувати кількість нейронів вихідного шару, а відповідно їй буде зменшуватись кількість прикладів для навчання. Слід зазначити, що приклади для навчання слід застосовувати не підряд, а у спонтанному порядку, це підвищить ефективність навчання мережі.

Кількість тестових прикладів повинна варіюватися у залежності від необхідної та достатньої кількості вибірки для перевірки імовірності правильного розпізнавання того чи іншого об'єкту. Звідси випливає, що маючи у мережі 28 класів об'єктів та припускаючи, що поява кожного з об'єктів є подія рівно імовірна, імовірність виникнення якої складає

$$p = \frac{1}{N} = \frac{1}{28} \approx 0,0357.$$

Для того, щоб пересвідчитися, що створена та навчена нейронна мережа правильно розпізнає повітряний об'єкт із імовірністю не нижче 0,99 зробимо розрахунок необхідної кількості тестових завдань. Для цього повинна виконуватися умова: імовірність виникнення групи подій повинна бути більше або дорівнювати заданій імовірності.

$$p \geq p_3, \quad p_3 = 0,99.$$

Звідси випливає, що достатньо лише 2 тестові приклади для перевірки працездатності нейронної

мережі, при цьому імовірність правильного розпізнавання буде складати 0,9987.

При зменшенні кількості нейронів вихідного шару – збільшується імовірність випадкового правильного розпізнавання.

Тобто необхідно збільшувати кількість тестових прикладів [5].

## Висновок

Це навчання якнайкраще підходять для вирішення задачі віднесення об'єкту до визначеного класу.

Втілення у життя подібного методу, дозволить у автоматичному режимі обробляти зображення безпосередньо на борту БПЛА або літака та у якості інформації передавати на пункт спостереження не знімки, а безпосередньо кількісний та якісний склад об'єктів аеродромів.

## Список літератури

1. Барский, А.Б. *Логические нейронные сети: Учебное пособие* / А.Б. Барский. - М.: БИНОМ. ЛЗ, ИНТУ-ИТ.РУ, 2012. - 352 с.
2. Галушкин, А.И. *Нейронные сети: основы теории* / А.И. Галушкин. - М.: Рус, 2015. - 496 с.
3. Комашинский, В.И. *Нейронные сети и их применение в системах управления и связи* / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. - М.: ГЛТ, 2003. - 94 с.
4. Редько, В.Г. *Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики* / В.Г. Редько. - М.: Ленанд, 2015. - 224 с.
5. Усков, А.А. *Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика*. / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 143 с.

Надійшла до редколегії 25.05.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО РАЗМАХУ КРЫЛЬЕВ, ПЛОЩАДИ КРЫЛА, УГЛУ СТРЕЛОВИДНОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТУ КОМПОНОВКИ

И.Ю. Юзова, Д.В. Прибыльнов

*В данной статье рассмотрены обучения, позволяет определить тип летательного аппарата в автоматическом режиме. В основу обучения положен нейронную сеть распознавания воздушных объектов по размаху крыльев, площадью крыла, углом стреловидности, коэффициентом компоновки. Главной задачей является точное определение принадлежности летательного аппарата к тому или иному типу. Обучение предусматривает создание выборок, которые будут сигнализировать о распознавании того или иного летательного аппарата.*

**Ключевые слова:** распознавание воздушных объектов, метод обучения нейронной сети, определение типа летательного аппарата, обработка изображений.

## NEURAL NETWORK TRAINING RECOGNITION OF AIR OBJECTS WINGSPAN, WING AREA, SWEEP ANGLE, COEFFICIENT OF ASSEMBLY

I.Yu. Yuzova, D.V. Prybyl'nov

*In this article the study, to determine the type of aircraft automatically. Based learning neural network recognition laid aerial objects wingspan, the wing area, sweep angle, ratio layout. The main task is the precise definition of the aircraft belonging to a particular type. Training involves creating samples that will signal the recognition of an aircraft.*

**Keywords:** air objects detection method of training a neural network, determine the type of aircraft the first apparatus, image processing.

# ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

УДК 658:562.014:006.354

В.А. Глива<sup>1</sup>, В.В. Халіль<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ

<sup>2</sup> Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків

## ВИКОРИСТАННЯ МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ІНДЕКСАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РЕЙТИНГУ ІНФОРМАЦІЇ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ

Розглянуто деякі із підходів використання індексації небезпек (ризиків) в Україні стосовно технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд. Розглянуто алгоритм підходу до аналізу наслідків за класом наслідків і категорії складності об'єкта. На основі виконаного аналізу існуючих підходів запропоновано удосконалення форми подання інформації, яка зараз використовується на підприємствах. Розроблена кольорова та цифрова індексація інформації у системі керування охороною праці підприємства.

**Ключові слова:** індексація, система, керування, безпека, стандарти, ризик, контроль.

### Вступ

На підприємствах машинобудівної галузі питання травматизму та професійних захворювань є найбільш гострими та вимагають прийняття комплексних рішень на кожному з етапів виробничого процесу. Найбільшу роботу із визначенням небезпек та наслідків їх впливу проводить фонд соціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань на виробництві (ФСС).

### 1. Інформація ФСС щодо стану небезпек на виробництві

Щорічно усі обласні виконавчі комітети цієї установи звітують про свою діяльність та показують кількість нещасних випадків та їх розподіл по різних категоріям.

Другим важним моментом цих щорічних звітів є те, що вони показують, які кошти витрачаються на реабілітацію постраждалих, а також виплат по інвалідності. Усі ці кошти можна б було витратити на покращення умов праці та інші необхідні заходи. Завдяки цьому можна поррахувати економічну доцільність виконання робіт із удосконалення систем керування охороною праці на виробництвах та установах. Так за даними ФСС міста Харкова за 2015 р. медичною та соціальною реабілітацією було забезпечено 1978 потерпілих. З урахуванням коштів, витрачених на централізованому рівні, це складає – 24,932 млн. грн., що на 11,286 млн. грн. більше ніж за аналогічний період минулого року (у 2014 році забезпечено медичною та соціальною реабілітацією 1583 постраждалих на суму – 13,646 млн. грн) [1]. На рис. 1 наведено динаміку цих виплат за роками.

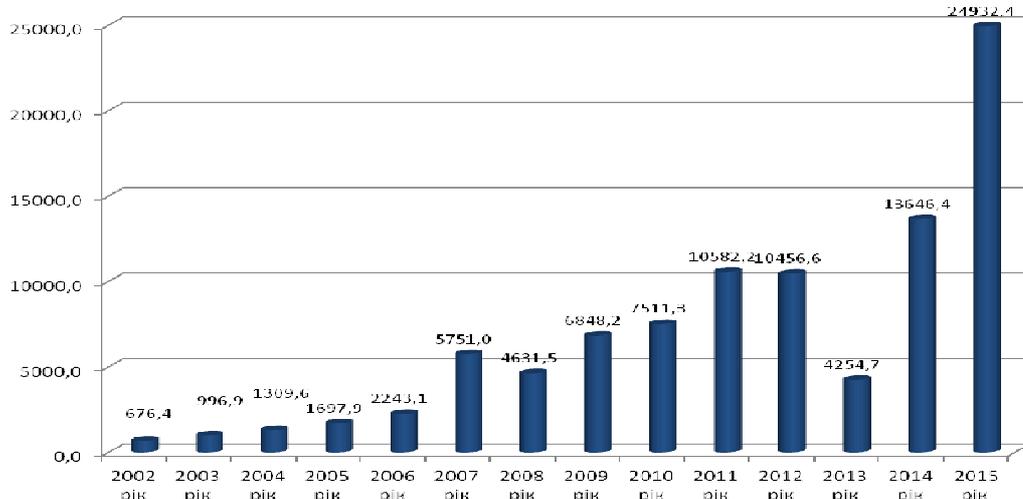


Рис. 1. Динаміка виплат на медико-соціальну реабілітацію потерпілих на виробництві згідно звіту ФСС Харківської області, тис. грн.

Страхові нещасні випадки, акти про які складено за формою Н-1 протягом 12 місяців 2015 року, сталися при виконанні робіт за 82 видами діяльності.

Найвищий рівень виробничого травматизму спостерігається серед працівників віком від 41 до 59 років незважаючи на їх професійний досвід, знання норм та правил охорони праці. 52% травмованих – це працівники, чий стаж роботи за фахом не перевищує 5 років. До основних видів подій, що призвели до нещасних випадків (відповідно до складених за 2015 рік актів за формою Н-1), відносяться:

- падіння потерпілого - 31,8% травмованих осіб від загальної кількості травмованих по регіону (в т.ч. падіння потерпілого під час пересування - 20,7%, падіння потерпілого з висоти – 6,1%);

- пригоди (події) на транспорті – 17,7% (в т.ч. дорожньо-транспортна пригода на дорогах (шляхах) загального користування – 13,6%);

- навмисне вбивство або травма, заподіяна іншою особою – 15,2%;

- дія предметів та деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються - 15,2% травмованих осіб від загальної кількості (в т.ч. дія рухомих і таких, що обертаються, деталей обладнання, машин і механізмів - 11,6%).

Але, аналізуючи ці дані, розумієш, що використати їх у системі керування охороною праці із метою індексації інформації, що розповсюджується серед працівників та керівного складу, дуже важливо, але інколи не доцільно. Тому пропонується використати наступні дані, які також наведено у доповіді. А саме те, що аналіз основних причин страхових нещасних випадків за 2015 рік показує, що серед причин переважають організаційні, які складають 58,6%, і на усунення яких треба звертати увагу під час проведення профілактичної роботи на підприємствах (порушення трудової і виробничої дисципліни - 38,4% травмованих осіб від загальної кількості (в т.ч. невиконання вимог інструкцій з охорони праці - 32,8%, невиконання посадових обов'язків - 4,5%).

Технічні причини склали 7,1% (в т.ч. незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, території, засобів виробництва – 3,0%). Психологічні причини – 34,3% від загальної кількості травмованих осіб). Найбільша кількість професійних захворювань відносно загальної в регіоні зареєстрована у м. Харкові - 93,6% (44 актів форми П-4).

## 2. Цифрова та кольорова міжнародна індексація небезпек

Розглянемо деякі із підходів використання індексації небезпек (ризиків) в Україні. Так техніч-

ний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 р № 1764) був розроблений на підставі Директиви Ради 89/106 / ЕЕС [2].

Розроблено:

- законопроект, який реалізується Постановою (ЕУ) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради [3];

- будівельні норми і правила (Обов'язковий документ)[4];

- стандарти для будівельних матеріалів і методи випробувань (Добровільні документи)[5].

Алгоритм підходу до аналізу наслідків за класом наслідків і категорій складності об'єкта будівництва показано на рис. 2.

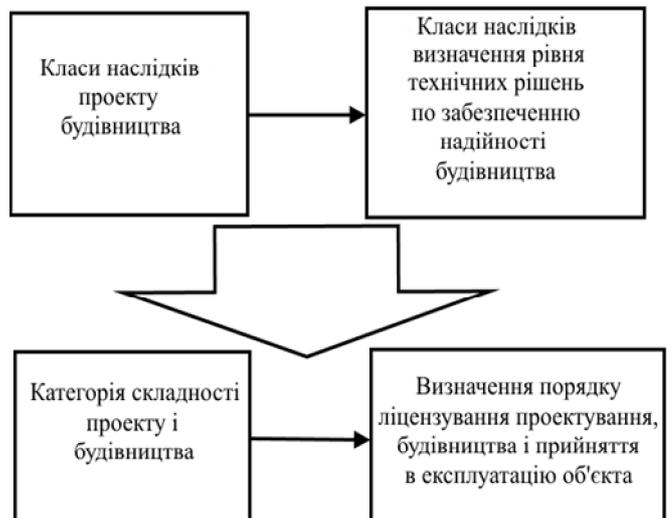


Рис. 2. Алгоритм підходу до аналізу наслідків за класом наслідків і категорій складності об'єкта будівництва

Україна реалізує принципи підходу, заснованого на ризику, які спрямовані на підвищення безпеки будівель і споруд: тобто, скорочення соціального і матеріального ризику для людини (життя, здоров'я) від різних видів небезпек, особливо від можливого ушкодження будівельних об'єктів, від можливої пожежі, можливої хімічного отруєння людини на об'єкті та поза об'єктом. Вводить Загальні принципи надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд на підставі можливих наслідків ризику аварії. Відповідно розглядаються три класи за наслідками (табл. 1).

В табл. 1 класи позначено так:

СС1 – високі наслідки, щодо втрати людського життя або економічних, соціальних і екологічних наслідків дуже великі;

СС2 – середній результат для втрати людського життя, економічні, соціальні або екологічні наслідки значні;

СС3 – низькі наслідки, щодо втрати людського життя, а також економічні, соціальні або екологічні наслідки малі або незначні.

Таблиця 1

Характеристики можливих наслідків в залежності від категорії складності і класу наслідків

Проект будівництва:		Характеристики можливих наслідків від відмови будівлі або споруди
категорія складності	класи наслідків	
V	CC3	<b>Соціальні наслідки:</b> 1) можливі небезпеки для здоров'я і життя людей, які проживають на об'єкті; 2) можливі небезпеки для здоров'я і життя людей, які періодично на місці; 3) можлива небезпека для життя людей, які перебувають поза об'єктом. <b>Економічні наслідки:</b> 4) сума потенційних економічних втрат; 5) втрата культурної спадщини; 6) можливість припинення функціонування об'єктів інженерної та транспортної інфраструктури.
IV	CC2	
III		
II	CC1	
I		

### 3. Індексація інформації у системі керування охороною праці

У будь якій системі керування її ефективність визначається своєчасним отриманням інформації, швидким її вивченням та своєчасним реагуванням. Система керування охороною праці на підприємстві (СКОПП) побудована таким чином, що усі її керівні ланки повинні отримувати інформацію стосовно стану безпеки та здоров'я працівників на робочих місцях, обробляти її, приймати відповідні рішення або заходи та втілювати їх на робочих місцях, доводячи при цьому до відома працівників про вжиті заходи. В зв'язку із чим певні вимоги висуваються до якості передачі інформації, її вірогідності, повноти та іншим показником, які відносяться саме до цього питання.

Інформація для працівників різних сфер діяльності є найважливішим елементом, що забезпечує необхідний рівень знань про предмет праці, завдання, що стоїть перед ними, а також організації охорони праці на кожному робочому місці [6].

Необхідно визначити у якій формі треба подавати інформацію та як її позначати, використовуючи індикатори ризику.

Форма подання інформації, яка зараз використовується на підприємствах - це паперова та цифрова (комп'ютерна). Для того, щоб визначити індекс інформації її, насамперед, необхідно відправляти до

одного єдиного місця, де фахівець повинен визначити цей індекс.

Зважаючи на професійну підготовку, пропонується відділ охорони праці підприємства. Фахівець відділу охорони праці, дивлячись у відповідну форму (таблицю або схему), повинен на документі проставити індекс ризику або рівень пріоритету документу відповідно до питань безпеки праці.

Аналіз інформації, наведений у попередніх розділах, дозволяє нам представити таблицю індексів у вигляді, який запропоновано у табл. 2.

Фахівець відділу охорони праці, відповідно до табл. 2 проставляє на документі або CC3, якщо документ торкається питань організаційних, а саме навчання із питань охорони праці, розробки або втілення інструкції, або нових стандартів і т.п.

Якщо у документі іде мова про психофізіологічні проблеми – CC2, а саме протиправні дії працівників або сторонніх людей, необережність при переміщенні по території підприємства або поза неї і таке інше.

Та відповідно до технічних причин проставляє CC1, коли це торкається питань стану обладнання або технологій, будівель та тому подібного.

Також застосовується кольорове маркування документу відповідно до зробленої позначки. Це надає змогу значно прискорити розподіл та скоординувати напрям інформаційних потоків в системі керування охороною праці підприємства.

Таблиця 2

Розподіл категорій складності виробничого процесу та класів наслідків проекту будівництва згідно аналізу основних причин страхових нещасних випадків за 2015 рік ФСС міста Харкова

Категорія складності виробничого процесу	Класи наслідків проекту будівництва	Характеристики можливих виробничих ризиків
V	CC3	<b>1. Порушення трудової і виробничої дисципліни:</b> порушення вимог інструкцій з охорони праці; невиконання або неналежне виконання посадових обов'язків. <b>2. Психофізіологічні причини:</b> протиправні дії осіб; необережність працівників. <b>3. Технічні причини:</b> технічний стан: виробничих об'єктів, будівель, споруд, інженерних комунікацій, території, засобів виробництва
IV	CC2	
III		
II	CC1	
I		

Обов'язково вказується прізвище фахівця та час коли їм зроблена індексація документу. У відділі охорони праці повинен бути журнал обліку документів та із позначкою зробленої індексації.

Після цього документ адресується до керівника підприємства, який повинен разом із фахівцями підприємства розробити план заходів щодо його виконання та копію рішення спрямувати у відділ охорони праці, який ставить це питання на контроль щодо його реалізації та виконання. Працівник відділу, згідно із індексами ризиків, повинен у терміни, які встановлює керівник, надавати інформацію керівнику відділу охорони праці щодо виконання заходів із реалізації цього документу. Для поліпшення користування, ця інформація може бути занесена у базу даних відповідно до індексів ризику та у автоматичному режимі відправлятися усім, кого вона торкається, із нагадуванням.

На рис. 3 наведено алгоритм дій із інформаційним потоком щодо індексації інформації. Після планування заходів головним питанням є контроль та аналіз ефективності їх виконання. На рис. 4 показано, як цей процес необхідно реалізувати на підприємстві, щоб отримати позитивний ефект.

Таким чином, утворюється єдина система ефективного управління питаннями охорони праці на підприємстві в якій приймають участь усі ланки підприємства, а корегує ці дії відділ охорони праці.

Незалежно від фактично використовуваних методів при ідентифікації ризику важливо враховувати людські і організаційні чинники. Відхилення, викликані впливом людських і організаційних чинників, а також небезпечні події, які пов'язані з інформаційними технологіями, мають бути враховані в процесі ідентифікації ризику зовнішніми аудиторами. Для цього рекомендується використовувати модель СОН, яка визначатиме три рівні небезпеки шляхом суб'єктивної, об'єктивної та незалежної (зовнішньої) оцінки ситуації [7].



Рис. 3. Алгоритм дій із інформаційним потоком



Рис. 4. Алгоритм контролю реалізації заходів із охорони праці у підрозділах підприємства

## Висновки

Враховуючи три класи наслідків та характеристики можливих виробничих ризиків, що надаються фондом соціального страхування від нещасних випадків та професійних захворювань кожного року у звітах, можна вдосконалити систему моніторингу та контролю за нещасними випадками на робочому місці, надав швидкості проходження інформації по усім контурам та вузлам керування. Зробити це стає можливим із урахуванням району розташування підприємства, враховуючи специфіку кожного регіону. Це дозволяє сконцентрувати ресурси на вирішенні більш важливих для кожного окремого підприємства питань, що зменшить ризик життям та здоров'ям працівників та надасть суттєвої економії часу та коштів керівникам. У разі невиконання дій за планом до процесу керування долучається модель СОН, яка визначатиме рівні небезпеки.

З урахуванням наданих висновків керівництво має можливість визначити та усунути надалі перешкоди у реалізації заходів із охорони праці, що також сприятиме покращенню безпеки на підприємстві.

## Список літератури

1. Інформація про стан виробничого травматизму та професійних захворювань у відділенні Фонду у м. Харкові за 2015 рік [Електронний ресурс] // 28/01/2016. Режим доступу:  
URL: <http://fsnvi.kharkov.ua/wps/?p=1173#more-1173>.
2. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів України від 20.12.2006 р № 1764 / Кабінет Міністрів України. – К., 2010. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1764-2006-%D0%BF>.
3. Гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів [Електронний ресурс] : Регламент ЄС № 305/2011 Європейського Парламенту і Ради / Європейський парламент та Рада Європейського Союзу. – 2013. – 10 с. – Режим доступу:  
<http://old.minregion.gov.ua/attachments/files/press/1.pdf>.
4. Державні будівельні норми України. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. ДБН В.2.2-15-2005 [Електронний ресурс]: затверджено наказом Держбуду України від 18.05. 2005 р. № 80 / Державний комітет України з будівництва та архітектури. – 2009. – Режим доступу:  
[http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/FIN19615.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/FIN19615.html).
5. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. [Електронний ресурс]: Каталог будівельних норм та нормативних документів національного рівня у галузі будівництва та промисловості будівельних матеріалів України (станом на 1 січня 2013 року) / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 485 с. – Режим доступу:  
<https://docviewer.yandex.ua/?url=http%3A%2F%2Fold.minregion.gov.ua%2Fattachments%2Fcontent-attachments%2F2916%2FKATALOG.pdf&name=KATALOG.pdf&lang=uk&c=585113bcb33>.
6. Халіль, В.В. Інформаційні потоки у системі керування охороною праці підприємства [Текст] / В.В. Халіль // Проблеми охорони праці. – 2016. – № 32. – С. 48 – 55.
7. Глива, В.А. Аудит ризиків безпеки на робочому місці [Текст] / В.А. Глива, В.В. Березуцький, Н.Л. Березуцька, В.В. Халіль // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2016. – № 2/3(28). – С. 12 – 17.

Надійшла до редколегії 16.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНДЕКСАЦИИ ОПАСНОГО СОСТОЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЙТИНГА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА

В.А. Глыва, В.В. Халиль

Рассмотрены некоторые из подходов использования индексации опасностей (рисков) в Украине относительно технического регламента строительных изделий, зданий и сооружений. Рассмотрены алгоритм подхода к анализу последствий по классу последствий и категорий сложности объекта. На основе выполненного анализа существующих подходов предложено усовершенствование формы представления информации, которая сейчас используется на предприятиях. Разработана цветная и цифровая индексация информации в системе управления охраной труда предприятия.

**Ключевые слова:** индексация, система, управление, безопасность, стандарты, риск, контроль.

## THE USE OF INTERNATIONAL INDEXING SYSTEM DANGEROUS CONDITION RATING DEFINITIONS REGARDING THE INFORMATION IN THE SYSTEM OF PROTECTION OF LABOUR

V.A. Glyva, V.V. Khalil

Consider some of the approaches use indexing hazards (risks) in Ukraine with respect to the technical regulation of construction products, buildings and structures. The algorithm of the approach to the analysis of the effects and consequences of the class of object categories of complexity. On the basis of the analysis of existing approaches suggested improvement in the presentation of information that is now being used in the workplace. A color digital and indexing of information in the enterprise labor protection management system.

**Keywords:** indexing, system management, security, standards, risk control.

УДК 538.69.331.45

Л.О. Левченко<sup>1</sup>, О.В. Ходаковський<sup>2</sup>, В.П. Колумбет<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ<sup>2</sup> Херсонська державна морська академія, Херсон

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЇХ ВПЛИВУ НА ЛЮДЕЙ І ДОВКІЛЛЯ

У роботі розглянуто практичне застосування моделювання просторових розподілів електромагнітних полів найбільш поширених джерел. Встановлено засоби і заходи зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля, розроблення і впровадження яких можливе тільки за рахунок моделювання, що значно пришвидшує впроваджувальні роботи та знижує їх вартість.

**Ключові слова:** моделювання, рівні електромагнітних полів, розосереджені і локальні джерела, лінії електропередачі, прогнозування електромагнітної обстановки.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зростання розгалуження повітряних та підземних ліній електромереж, кількості та потужності пристроїв перерозподілу і споживання електроенергії має наслідком підвищення електромагнітного навантаження як у будівлях і спорудах, так і на окремих територіях. Визначення фактичних рівнів електромагнітних полів у критичних точках зазвичай здійснюється інструментальними методами. Але у багатьох випадках це потребує виконання великих обсягів робіт, особливо за змінного навантаження на електричні мережі та пристрої. Крім того, важливим напрямом робіт з електромагнітної безпеки є прогнозування електромагнітної обстановки за різних електричних навантажень існуючих систем та на стадії їх проектування. Це можливо виключно за рахунок моделювання поширення та просторово-часових змін рівнів електромагнітних полів за тих чи інших умов.

Але само по собі моделювання або констатує факт реальної електромагнітної обстановки, або з деякою точністю показує очікувану електромагнітну обстановку та її динаміку. При цьому прикладна складова таких досліджень, яка являє собою визначення умов, переліку і вмісту заходів зі зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля, залишається майже поза увагою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, у ґрунтовній роботі [1] наведено просторові розподіли електричного та магнітного полів промислової частоти уздовж повітряних ліній електропередачі, при цьому констатується факт перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів за межами санітарно-захисних зон.

У дослідженнях [2, 3] показано різні поширення магнітних полів за різного розташування фазних дротів у повітряних лініях електропередачі,

що може бути використано для потреб електромагнітної екології за певної систематизації усіх наявних результатів.

У попередній роботі [4] було змодельоване поширення та зміни магнітного поля навколо потужних локальних джерел, що надало змогу визначити шляхи безпечного пересування людей, а у роботі [5] змодельовані рівні магнітних полів за наявності багатьох джерел, що є основою до оптимізації розміщення обладнання з точки зору електромагнітної безпеки. Ці напрями є перспективними і потребують розвитку.

У дослідженні [6] показано перерозподіл електромагнітного поля за різних орієнтацій металевих поверхонь поблизу повітряних ліній електропередач, а у роботі [7] представлена ефективність часткової екранізації магнітної складової спеціальним пристроєм.

Але усі ці напрацювання мають фрагментований характер і розглядають окремі випадки, не надаючи загальних принципів використання розрахункових методів для потреб електромагнітної безпеки та електромагнітної екології.

*Метою статті* є надання загальних науково обґрунтованих рекомендацій щодо використання моделювання просторових розподілів електромагнітних полів навколо розосереджених і локальних джерел для зниження електромагнітного навантаження на людей і довкілля.

### Виклад основного матеріалу

Принциповим питанням щодо визначення впливу джерел електромагнітних полів на людей і довкілля є виявлення розумного співвідношення розрахункових та експериментальних робіт у цьому напрямі. Так, рівні електричної складової електромагнітного поля повітряних ліній електропередачі визначаються виключно робочою напругою лінії і є практично постійною величиною. Цей па-

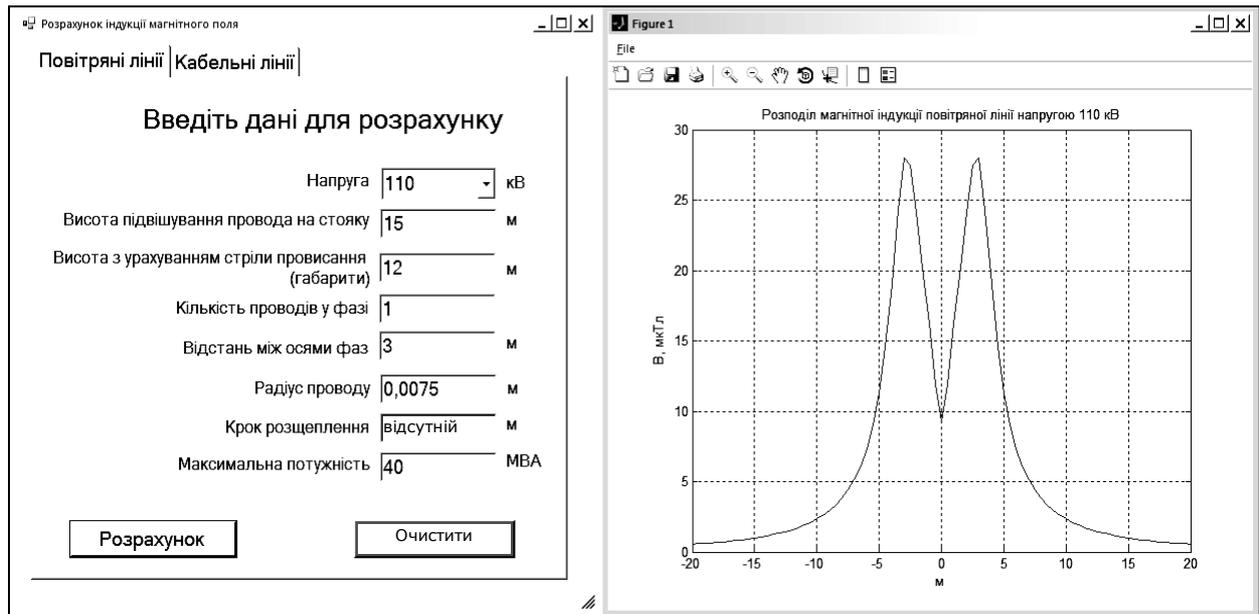
раметр нормується і може бути розрахований, виходячи з проектних даних, що нами показано у роботі [8]. Контрольні вимірювання є доцільними для визначення впливу конструктивних особливостей будівель і споруд на напруженість електромагнітного поля.

Щодо магнітного поля промислової частоти, то його напруженість залежить від значення електричного струму у даний момент, тому експериментальні дослідження її фактичного рівня недоцільні через змінність навантаження, яке ніколи не відомо у режимі реального часу. У цьому випадку доціль-

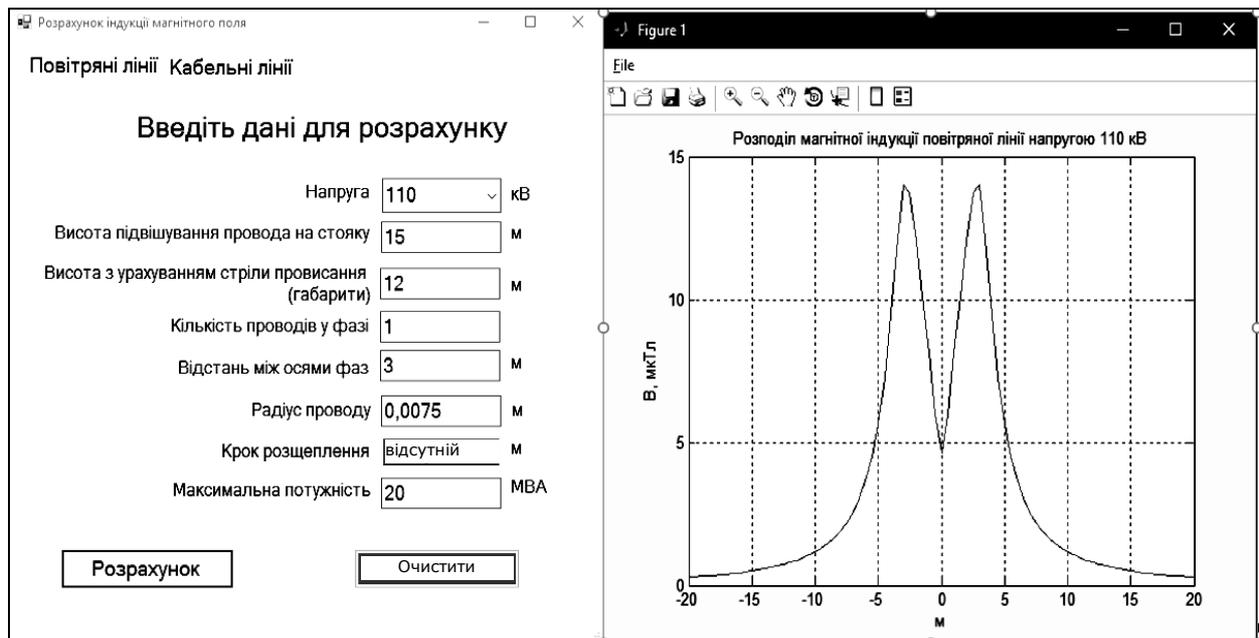
не моделювання просторового розподілу магнітного поля за номінального і максимального навантаження.

Порівнявши отримані дані з зоною впливу такого поля, можна визначити заходи щодо зниження напруженості поля у потрібних місцях.

Так, прорахувавши максимальний електричний струм у повітряній лінії, який генерує магнітне поле, яке не складає небезпеки для людей згідно чинних нормативів, можна обмежити цей струм за рахунок диспетчеризації потоків електроенергії (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Розрахунок магнітного поля повітряної лінії напругою 220 кВ за номінальним (а) і меншим електрострумом (б)

Отриманий результат свідчить, що знизивши значення електричного струму у лінії електропередачі, можна нормалізувати рівні магнітного поля за межами санітарно-захисної зони. Але такий спосіб не завжди є прийнятним. Це стосується випадків недостатньої розгалуженості силової електричної мережі та контактної мережі електричного транспорту, у якій знизити робочий електричний струм неможливо.

У цьому випадку зниження впливу магнітного поля реалізується у два етапи. На першому етапі моделюється поширення магнітного поля принаймні за середніх струмових навантажень (вони відомі) і визначаються критичні зони впливу, де потрібне зниження напруженості (індукції) поля. За результатами моделювання визначається розташування джерела зустрічного магнітного поля, яке компенсує поле первинного джерела.

Такий підхід ґрунтується на фундаментальних фізичних співвідношеннях і полягає у монтажі додаткового контура, паралельного лінії зі струмом, у якому циркулює індукований електричний струм протилежного напрямку. Відповідно спрямоване і його магнітне поле.

У цьому випадку розв'язується зворотна задача за необхідності зниження рівня магнітного поля, розраховується значення компенсуючого поля та електричний струм, який його генерує.

А значення цього струму однозначно визначається струмом у первинному джерелі та відстанями між джерелами.

Таким чином, на основі моделювання поширення магнітних полів можна точно визначити не тільки реальну електромагнітну обстановку, а й розрахувати ефективність засобів її нормалізації з їх однозначним позиціонуванням.

Наведене вище стосується магнітних джерел електромагнітних полів, які перебувають у експлуатації.

На стадіях проектування таких розосереджених мереж доцільне додаткове визначення їх конструктивних особливостей, які сприятимуть підвищенню електромагнітної безпеки. Як показано у [2, 3] зниження рівня магнітного поля повітряної лінії електропередачі можливе за рахунок зменшення відстаней між дротами окремих фаз та оптимізації геометрії підвісу дротів.

Останнє полягає у потрібній орієнтації фазних дротів та взаємного розташування дротів у одній фазі за її розщеплення. Рівні магнітних полів розраховуються для різних конфігурацій та обирається найбільш прийнятна та раціональна. Але при цьому виникає проблема.

Розрахунки електричних і магнітних полів регламентовані офіційною методикою [8], тому напруження останніх років щодо точних розрахун-

ків цих параметрів за різних конструктивних особливостей повітряних ліній повинні бути офіційно затверджені.

Окремого розгляду потребують електромагнітні поля локальних джерел.

Такими, що можуть складати значний вплив на людей та оточуюче середовище є електричні пристрої (наприклад, трансформатори) та потужні електричні машини. Щодо трансформаторів, то за їх окремого розташування на території за перевищення допустимих рівнів електромагнітних полів їх доцільно огородити. Для вбудованих трансформаторів сухого типу, передбачених чинними будівельними нормами для висотних будинків, це потребує визначити ефективність електромагнітних екранів, які для таких пристроїв є обов'язковими.

Наші дослідження [9] показали, що магнітні поля електричних машин, таких, як чотириполюсні турбогенератори, є несиметричними. Це дає змогу підвищити рівень електромагнітної безпеки, а саме: на основі моделювання просторового розподілу магнітного поля визначити місця безпечного перебування та пересування людей, а також з'ясувати потрібну орієнтацію машини (або полюсів машини), які забезпечують мінімально можливі рівні магнітних полів у потрібних зонах. Значною мірою це стосується і відкритих розподільчих пристроїв електричних мереж.

Отримані результати спрощують розроблення та впровадження організаційно-технічних заходів зі зниження впливу електромагнітних полів на людей і довкілля.

Крім того, здійснення попереднього моделювання мінімізує обсяги натурних вимірювань рівнів електричних і магнітних полів, а також витрати на увесь комплекс робіт з електромагнітної екології.

Наведене дозволяє сформульовані основні висновки та рекомендації.

## **Висновки**

1. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів доцільно здійснювати як для діючих джерел, так і для ліній електропередачі, локальних джерел на стадіях їх проектування. Це дозволяє визначити та впровадити найбільш раціональні заходи і засоби підвищення електромагнітної безпеки або внести їх у відповідну проектну документацію.

2. Необхідним є офіційне затвердження сучасних розрахункових методів з визначення поширення електромагнітних полів за різних конструктивних рішень щодо взаємного розташування фазних дротів та розщеплення фаз.

3. Використання моделювання поширення електромагнітних полів зменшує обсяги робіт зі

зниження їх впливу на людей і довкілля, скорочує час впровадження відповідних організаційно-технічних заходів та має значний економічний ефект.

### Список літератури

1. Довбыш В.Н. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Моногр. / [В.Н. Довбыш, М.Ю. Маслов, Ю.М. Сподобаев]. – Самара: ООО «ИПК «Содружество», 2009. – 198 с.
2. Магнитное поле линий электропередачи и методы его снижения до безопасного уровня / [В.Ю. Розов, С.Ю. Реуцкий, Д.Е. Пелевин, О.Ю.Пилюгина] // Технічна електродинаміка. – 2013. – № 2. – С. 3-8.
3. Пелевин Д.Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон / Д.Е. Пелевин // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 5. – С. 14 – 16.
4. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей множественных джерел / В.А.Глива, Л.О. Левченко, С.А. Теренчук // Новітні комп'ютерні технології: VII міжнародна наук.-техн. конф., 14-17 вересня 2010 р.: матеріали. – Севастополь, 2010. – С.34-35.
5. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управління розвитком складних систем. Вип. 20. – 2014. – С. 174 – 179.
6. Графкина М.В. Экологический мониторинг и повышение электромагнитной безопасности урбанизированных территорий вблизи линий электропередачи / М.В. Графкина, Е.Ю. Свиридова // Государственное управление ресурсами. – Спецвыпуск. – 2013. – С. 149-185.

7. Патент Российской Федерации RU 2581619, МПК7: H02H3/00 B60M5/00 Устройство токовой защиты контактной сети постоянного тока / Кузнецов К.Б., Лесников Д.В. // Опубл. 20.04.2016.

8. Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання: СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008. – К.: Державне підприємство «Український науково-дослідний, проектно-вишукувальний та конструкторсько-технологічний інститут «Укрсіленергопроект»: Міністерство палива та енергетики України, 2008. – 34 с.

9. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управління розвитком складних систем. – 2014. – Вип. 20. – С. 174 – 179.

Надійшла до редколегії 23.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Запорожець, Національний авіаційний університет, Київ.

### ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Л.А. Левченко, А.В. Ходаковский, В.П. Колумбет

В работе рассмотрено практическое применение моделирования пространственных распределений электромагнитных полей наиболее распространенных источников. Определены средства и меры снижения влияния электромагнитных полей на людей и окружающую среду, разработка и внедрение которых возможно только за счет моделирования, что значительно ускоряет внедренческие работы и снижает их стоимость.

**Ключевые слова:** моделирование, уровни электромагнитных полей, рассредоточенные и локальные источники, линии электропередачи, прогнозирование электромагнитной обстановки.

### APPLICATION OF MODELING PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS FOR DECREASE THEIR IMPACT ON PEOPLE AND THE ENVIRONMENT

L.O. Levchenko, O.V. Khodakovsky, V.P. Kolumbet

The paper considers the practical application of modeling the spatial distribution of the electromagnetic fields of the most common sources. Tools and measures were identified for reducing the impact of electromagnetic fields on humans and the environment, development and the introduction of which is possible only by modeling, which greatly accelerates the commissioning work and reduces their cost.

**Keywords:** modeling, the levels of electromagnetic fields, dispersed and local sources, power lines, prediction of the electromagnetic environment.

УДК 658.62.018.012

Р.М. Тріщ, Г.С. Кіпоренко, Н.І. Кім, А.М. Денисенко

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ (ДСТУ ISO 9001:2015) ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

*У статті представлено підходи до оцінювання ризиків функціонування системи управління якістю (СУЯ) на прикладі Вищих навчальних закладів. Виокремлено основні проблеми в забезпеченні якості вищої освіти та поставлено завдання, щодо її вирішення. Розглянуто Міжнародну систему забезпечення якості освіти, завдання забезпечення якості вищої освіти та запропоновано методи оцінки ризиків функціонування СУЯ для забезпечення якості вищої освіти. На основі проведеного аналізу та запропонованих методів надано рекомендації щодо впровадження запропонованих методів оцінювання ризиків у діяльність Вищих навчальних закладів.*

**Ключові слова:** стандарти вищої освіти, імплементація, управління якістю, ризик, оцінювання якості, кваліметричний підхід.

### Вступ

Розвиток суспільства, як технічний, так і морально-духовний, інтелектуальний та інші, вимагає реформування та адаптації системи освіти та підготовки майбутніх фахівців до сучасних умов існування, що є одним з основних принципів існування успішної системи, яка орієнтована на постійне поліпшення та удосконалювання. Проблема якості освітніх послуг є однією з ключових (поруч із доступністю) для системи освіти будь-якої країни. Україна в цьому сенсі не є винятком. Швидше навпаки – жоден із численних українських ВНЗ не входить до 500 кращих університетів світу за провідними світовими рейтингами. Для порівняння, в Австралії серед 39 університетів, з яких 37 державних і які охоплюють 94 % студентів країни, 8 входять до 200 кращих університетів світу. Нова Зеландія має 8 університетів, з яких 3 входить до 200 кращих [1].

Разом з тим, основні напрямки економічного розвитку України, в умовах прагнення до євроінтеграції, сприяли до впровадження на підприємствах підвищення вимог до якості процесів, послуг та товарів, і як наслідок, підвищено вимоги і до фахівців, що зможуть забезпечити виконання цих вимог. Підготовка фахівців, що задовільняють потреби роботодавців, є основною метою вищої освіти і так само потребують удосконалення з орієнтацією на зміни у ринковому просторі. Основним напрямком розвитку підприємств є впровадження міжнародних та європейських технологій, стандартів та нормативів для забезпечення конкурентоспроможності продукції та послуг на світовому ринку. Такий підхід передбачає і підготовку фахівців, що здатні працювати згідно з міжнародних та європейських стандартів якості та зумовлює удосконалення підходів до освітнянської діяльності в цілому, так і до окремих процесів (наукових, викладацьких, виховних, тощо).

У зв'язку з цим, постає актуальне питання про необхідність удосконалення системи управління якістю при підготовці майбутніх фахівців, а саме системи управління якістю Вищих навчальних закладів з врахування особливостей сучасних вимог роботодавців до фахівців. Однак, передумовою для удосконалення СУЯ є визначення підходів, методик та методів оцінювання існуючих процесів СУЯ та ризиків її функціонування.

**Аналіз літературних джерел.** Вищий навчальний заклад – це складна соціально-економічна система, що складається з значної кількості процесів, для оцінювання яких необхідно вивчати характеристики кожного з них. На даний час проблемам оцінювання процесів якості освіти приділяється багато уваги. У вирішенні проблем і завдань даного напрямку чималий внесок зробили такі вчені, як Новіков А. М., Вишневський Ю. Р., Гриневич Л. М., Болотов В. А., Панасюк В. П., Субетто А. І., Аграновіч М. Л. – у галузі розроблення системи якості освіти; зарубіжні вчені – Крокер Л., Алгіна Дж., Раш Г., а також їхні послідовники з країн СНД – Самилкіна М. М., Челишкова М. Б., Дубіна І. М., Аванесов В. С., праці яких присвячені аналізу методів оцінювання рівня навчальних досягнень. Разом з тим питання з оцінювання якості в навчальних закладах [2 – 4] спрямовані на визначені якісної, а не кількісної оцінки або не відповідають вимогам стандарту ДСТУ ISO 9001:2015. Згідно міжнародного стандарту ДСТУ ISO 9001:2015, організація, що розробляє та впроваджує систему управління якістю (СУЯ) повинна планувати і здійснювати дії по визначенню ризиків та реалізації можливостей, що дозволяє створювати основу для підвищення її результативності та отримання покращених результатів і запобігання негативних ефектів.

Загальнотеоретичним питанням управління ризиками, присвячено в економічній літературі достатньо багато праць [5 – 7], розгляду практичних про-

блем оцінювання ризик-менеджменту надана істотно менша увага – Г.Я. Гольдштейна, А.Н. Гуц, О.М. Донець, Т.В. Савельєва, Ю.І. Урецька де наводиться приклад програми управління ризиками для виробничої компанії та побудова матриці ризику. Однак основним напрямом оцінювання ризиків є їх ідентифікація експертними методами на основі внутрішнього аудиту підприємства, що не дає змогу оцінити ефективність такого підходу та врахувати особливості різноманітності процесів системи управління якістю при підготовці фахівців у вишах.

## 1. Теоретичні основи ідентифікації ризиків

Ризик притаманний будь-якій соціально-економічній діяльності чи системі, отже, наявність ризиків, як на підприємстві, так і в діяльності (процесах) вищих навчальних закладів, не є ані недоліком, ані перевагою. Сучасні підходи до розуміння поняття управління ризиками базується на так званій «концепції прийнятного ризику», згідно з якою основною метою є отримання максимальної надійності всіх видів діяльності шляхом підтримання сукупного ризику в межах заданих стратегією розвитку соціально-економічної системи [7]. При цьому управління ризиками може бути впроваджено на будь-якому етапі функціонування системи, а до участі у цьому процесі необхідно залучення усіх ланок вищого навчального закладу, починаючи з вищої ланки, що задає стратегію та відповідно максимальний рівень сумарного ризику (верхню межу). Впровадження управління ризиками у СУЯ вищих навчальних закладах виражається, зокрема, в тому, що до управління ризиками залучаються практично всі підрозділи ВНЗ, а саме:

- роблять ідентифікацію ризиків (представники функціонального підрозділу «Деканат», «Навчальний відділ», тощо);
- проводять аналіз ризиків (представники функціонального підрозділу «Кафедра», «Деканат», «Навчальний відділ», тощо);
- розробка заходів щодо управління ризиками і власне управління цими ризиками (представники функціонального підрозділу «Кафедра», «Деканат», «Навчальний відділ», «Виховний відділ» тощо);
- моніторинг рівня ризиків (представники функціонального підрозділу «Кафедра», «Деканат», «Навчальний відділ», тощо);
- реалізація заходів щодо запобігання настанню і ліквідації наслідків ризикових подій (представники усіх функціональних підрозділів ВНЗ).

Можна виділити наступні етапи ідентифікації та управління ризиками в рамках СУЯ вищого навчального закладу (рис. 1).

Перший етап пов'язано з визначенням стратегії ВНЗ, яка повинна базуватись на Політиці якості СУЯ. Політика якості формує чітке визначення ці-

лей, змісту, процедур та відповідальності її здійснення. Політика і пов'язані з нею процедури забезпечення якості повинні мати визначений офіційний статус, увесь персонал повинен чітко усвідомлювати важливість окремої діяльності в загальний розвиток та підвищення якості освіти, усвідомлювати власну значимість як професіоналу.



Рис. 1. Етапи ідентифікації та управління ризиками ВНЗ

Інформаційно-аналітичний етап, передбачає постійний моніторинг факторів, що впливають на виникнення ризиків, як зовнішніх, так і внутрішніх. На даному етапі здійснюється збирання, обробка, передавання та аналізування різного роду інформації, що дає можливість оцінити виникнення кола ризиків ВНЗ. До внутрішніх факторів можна віднести: мотивацію студентів ВНЗ, виховна робота, наукова робота зі студентами, матеріально-технічне оснащення, лабораторна база, методичне та навчальне забезпечення освітніх процесів, тощо. До зовнішніх факторів виникнення ризиків слід віднести: змінення орієнтації замовника (роботодавця, батьків, абітурієнтів, тощо), змінення кваліфікаційних вимог до фахівців, що випускає ВНЗ, нормативно-правового забезпечення освітньої діяльності, тощо.

На наступному етапі доцільно провести визначення контексту ризику, тобто треба ідентифікувати ризики ВНЗ. Визначення ризиків спирається на встановлення певних подій, які впливають (позитивно або негативно) на досягнення цілей, що відображені в стратегії ВНЗ. В рамках системи управління якістю вищих навчальних закладів пропонується вважати основною цілю – забезпечення якості освітньої послуги, продукція у даному випадку виступає фахівець, тобто випускник ВНЗ певного кваліфікаційного рівня, що задовольняє роботодавця. Тоді в якості контексту ризику можна прийняти студентів, що не виконали учбовий план, та не відповідають вимогам роботодавця (відраховані студенти).

Наступний етап передбачає збір даних відповідно до визначеного контексту ризиків. Цей етап, як правило, забезпечують представники функціона-

льного підрозділу «Деканат» разом з «Випускаюча кафедра». Далі необхідно провести якісний аналіз ризику, який передбачає виявлення чинників ризиків, наслідків їхньої реалізації для освітньої діяльності (вплив на цілі). На даному етапі важливо врахувати усі обставини та наслідки ризиків, з урахуванням особливості процесів ВНЗ.

Для того, щоб визначити шляхи впливу на ризик, слід провести кількісний аналіз ризику. Цей етап включає оцінку рівня ризику і рівня впливу на діяльність вищого навчального закладу, а також імовірність настання подій, що призводить до наслідків. Основними характеристиками ризиків соціально-економічних систем є ймовірність і розмір можливих наслідків, для різних ризиків можна побудувати функції розподілу ймовірності настання наслідків залежно від їх розміру.

## 2. Кваліметричні підходи оцінки ризиків

Ризик – це результат впливу закономірних та випадкових факторів на якість продукції, процесу чи послуги, який може мати як позитивний, так і негативний ефект.

Пропонується вважати, що ризик – це поняття, яке має кількісне вираження і обернене величині надійності. Тобто, щоб визначити величину ризику, необхідно знати величину надійності. Виходячи з цього, для визначення величини ризику стосовно продукції, процесів чи систем можна застосовувати ті самі методи, що застосовуються при визначенні надійності, тобто застосовувати методи структурно-аналізу та методи математичної статистики.

Згідно [1], системи управління якістю організацій відносяться до соціально – економічних систем, які мають свої особливості, серед яких особливості: управління, складу і структури, взаємовідносин з зовнішніми системами, оцінювання та аналізування. Згідно з особливостями пропонується оцінювати ризики функціонування СУЯ через ризики функціонування процесів (елементів системи). Так як ризик – це позитивна величина, що має кількісне вираження (від нуля до одиниці) і на його показник впливає велика кількість факторів (особливості процесів СУЯ ВНЗ), а час функціонування процесу ( $\tau$ ) – позитивна величина, то, виходячи з такої фізичної суґи припускається, що фізико-статистична модель – двопараметрична модель Вейбулла–Гнєденко, яка має вигляд:

$$P(\tau_{\max} < \tau) = F(\tau) = \exp\left(-(\tau/\beta)^{1/\alpha}\right), \quad (1)$$

де  $P$  – ймовірність;  $\beta$  – масштабний параметр;  $\alpha$  – параметр форми.

Для вирішення практичних задач з оцінювання ризиків необхідно оцінити параметри моделі (1) -  $\beta$  та  $\alpha$ . І чим ефективнішими будуть оцінки параметрів моделі, тим достовірнішим буде результат і тим

меншим необхідний обсяг статистичної інформації [2]. Тому наступним завданням дослідження є знаходження ефективних статистичних оцінок параметрів моделі розподілу (1).

Рішення практичних завдань вимагає уміння досить точно оцінювати параметри розподілу, особливо по малій кількості статистичних даних  $n$ . Адже ефективність і економічність управління якістю процесами визначається достовірністю визначення статистичних характеристик процесу розсіювання його показників якості за вибірковими даними невеликого обсягу. Для високої достовірності вирішення завдань щодо застосування статистичних методів у процесі управління якістю процесів необхідно знаходження ефективних статистичних оцінок параметрів статистичних моделей розподілу.

Знаходження ефективних статистичних оцінок параметрів моделей розподілу випадкових величин, яким відповідають розсіювання показників якості процесів, є однією з умов управління якістю статистичними методами. Тому завданням дослідження є знаходження ефективних статистичних оцінок параметрів моделей розподілу, що описують розсіювання показників якості процесу.

Класичні методи статистичного оцінювання – метод максимальної правдоподібності і метод моментів, орієнтовані на наявності великого об'єму статистичної інформації. Тобто із збільшенням інформації про об'єкт оцінювання ризику, збільшується достовірність оцінювання, проте на практиці їх часто застосовують при будь-яких обсягах інформації, у тому числі і малих, що призводить до значних помилок при вирішенні прикладних завдань.

Знайдемо оцінки параметрів методом найбільшої правдоподібності, для чого визначимо функцію правдоподібності  $K$ :

$$K = \ln p(\tau) = \ln \left( \prod_{i=1}^n p(\tau_i) \right). \quad (2)$$

Так як щільність розподілу моделі (1) має вид:

$$p(\tau) = \frac{1}{\alpha\beta} (\tau/\beta)^{1/\alpha-1} \exp\left(-(\tau/\beta)^{1/\alpha}\right), \quad (3)$$

$$\text{то } \ln(p(\tau_i)) = \ln \frac{1}{\alpha\beta} + \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \ln \frac{\tau_i}{\beta} - \left(\frac{\tau_i}{\beta}\right)^{1/\alpha}, \quad (4)$$

відповідно:

$$K = \ln p(\tau) = -n \ln(\alpha\beta) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \ln \tau_i - n \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \ln \beta - \sum_{i=1}^n (\tau_i/\beta)^{1/\alpha}. \quad (5)$$

Знаходимо часткові похідні за параметрами:

$$\begin{cases} \frac{\partial K}{\partial \alpha} = \frac{n}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} \sum_{i=1}^n \tau_i - \frac{n}{\alpha^2} \ln \beta - \sum_{i=1}^n (\tau_i/\beta)^{1/\alpha} \ln \left(\frac{\tau_i}{\beta}\right); \\ \frac{\partial K}{\partial \beta} = -\frac{n}{\alpha\beta} + \left(\beta^{-1/\alpha}/\alpha\right) \cdot \sum_{i=1}^n (\tau_i)^{1/\alpha}. \end{cases} \quad (6)$$

Оцінку  $\beta$  можна знайти, знаючи оцінку  $\alpha$ :

$$\beta = \left( \sum_{i=1}^n (\tau_i)^{1/\alpha} / \tau \right)^\alpha. \quad (7)$$

Оцінку  $\alpha$  можна знайти з таблиць для гамма-функцій з рівності:

$$C_v = \Gamma(1 + \alpha), \quad (8)$$

$$\text{де } C_v = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n p_i^2 - 1}{n-1}}; \quad p_i = \tau_i / \sum_{i=1}^n \tau_i. \quad (9)$$

Знаючи оцінку  $\alpha$ , можна отримати оцінку  $\beta$  з рівняння (7). Знайдемо оцінки параметрів методом моментів, прирівнюючи теоретичні та емпіричні моменти відповідного порядку, отримаємо оцінку  $\beta$ :

$$\beta = M_1 / (\Gamma(1 + \alpha)). \quad (10)$$

$$\text{Тоді } C_v = \frac{S}{M_1} = \sqrt{\frac{\sum (\tau_i - M_1)^2}{n-1}} / M_1, \quad (11)$$

де  $M_1$  – вибіркове середнє значення,  $M_1 = \sum n_i \tau_i / n$ ;  $S$  – стандартне вибіркове відхилення.

Отже, маємо оцінки параметрів моделі (1), отримані двома методами. Статистичний аналіз ефективності та зміщеності знайдених оцінок з застосуванням методу Монте-Карло показав, що оцінки, знайдені методом найбільшої правдоподібності більш ефективні та менш зміщені. Так при обсязі вибірки  $n=10$ , ефективність оцінки в середньому більша на 15%.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано особливості системи управління якістю у вищих навчальних закладах та запропоновано алгоритм ідентифікації та управління ризиками ВНЗ.

2. Запропоновано в якості оцінювання ризиків СУЯ вищого навчального закладу фізико-статистичну математичну модель за критерієм інтенсивності відмов – двопараметричну модель Вейбула–Гнеденка.

3. Визначено найкращі оцінки параметрів математичної моделі надійності безвідмовного функціонування процесу за критеріями незміщеності та ефективності.

4. Статистичний аналіз ефективності та зміщеності знайдених оцінок з застосуванням методу Монте-Карло показав, що оцінки, знайдені методом найбільшої правдоподібності більш ефективні та менш зміщені. Так при обсязі вибірки  $n=10$ , ефективність оцінки в середньому більша на 15%.

## Список літератури

1. Карпенко М. "Європейський досвід для створення ефективної системи контролю та оцінки якості вищої освіти в Україні". Аналіт. записка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/745/>.
2. Тавлук І.П. Передумови впровадження системи управління якістю у ВНЗ / І.П. Тавлук // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2011. – № 4 (71).
3. Столярчук П.Г. Методи оцінювання систем управління якістю / П.Г. Столярчук, Р.І. Байцар, А.В. Гунькало // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. – № 68. – С. 244-247.
4. Бичківський Р.В. СУЯ: оцінювання ефективності функціонування / Р.В. Бичківський, А.В. Гунькало // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 4. – С. 42-46.
5. Глуцєвський, В.В. Методологічні основи концепції управління ризиками підприємницької діяльності / В.В. Глуцєвський // Фінанси України. - 2009. – № 10. - С. 116-124.
6. Головач, Т.В. Ризик-менеджмент: зміст і організація на підприємстві / Т.В. Головач, А.Б. Грушевицька, В.В. Швид. // Вісник Хмельницького національного університету. - 2010. - №3. - С. 157-163.
7. Донець, О.М. Використання міжнародних стандартів в управлінні ризиками / О.М. Донець, Т.В. Савельєва, Ю.І. Урецька // Управління розвитком складних систем. – 2011. - № 6. – С. 36-42.

Надійшла до редколегії 24.03.2018

Рецензент: д-р техн. наук проф. А.С. Гордєєв, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## ОЦЕНКА РИСКОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (ДСТУ ISO 9001: 2015) ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Р.М. Трищ, А.С. Кипоренко, Н.И. Ким, А.Н. Денисенко

В статье представлены подходы к оценке рисков функционирования системы управления качеством (СУК) на примере высших учебных заведений. Выделены основные проблемы в обеспечении качества высшего образования и поставлена задача, по ее решению. Рассмотрена Международная система обеспечения качества образования, задачи обеспечения качества высшего образования и предложены методы оценки рисков функционирования СУК для обеспечения качества высшего образования. На основе проведенного анализа и предложенных методов даны рекомендации по внедрению методов оценки рисков в деятельности высших учебных заведений.

**Ключевые слова:** стандарты высшего образования, имплементация, управление качеством, риск, оценка качества, квалиметрический подход.

## RISK ASSESSMENT OF FUNCTIONING QUALITY MANAGEMENT SYSTEM (DSTU ISO 9001: 2015) HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

R.M. Trisch, A.S. Kiporenko, N.I. Kim, A.N. Denisenko

The article presents approaches to the assessment of the quality management system (QMS) operation risks as an example of higher educational institutions. The main problems are obtained in ensuring the quality of higher education and tasked to deal with it. Was considered the international system of quality assurance, the problem of quality assurance and risk assessment are proposed methods of operation the QMS to ensure the quality of higher education. Based on the analysis and proposed methods for recommendations on the implementation the methods of risk assessment in the activities of higher education institutions.

**Keywords:** higher education standards, implementation, quality management, risk, quality assessment, qualimetric approach.

# Зв'язок

УДК 621.391

О.Г. Жук

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ*

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

*У статті запропоновано методику адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку, що функціонують в складних умовах радіоелектронної обстановки, що заснована на адаптивному управлінні режимами роботи та маршрутами передачі інформації в залежності від типу переданої інформації та сигнально-завадової обстановки.*

**Ключові слова:** *сигнально-завадова обстановка, швидкість передачі інформації, ймовірність бітрової помилки, радіоелектронне подавлення, навмисні завади.*

### Вступ

В якості важливої умови реалізації глобального інформаційного простору розглядається створення трансформованої та гнучкої архітектури систем зв'язку. Головними відмінностями зазначеної архітектури від існуючої є використання систем високого рівня інтеграції, а також спряження різноманітних та різнотипних радіоелектронних систем, які повинні забезпечити вчасне доведення інформації до користувачів, оминаючи проміжні ланцюги.

З цією метою здійснюється перехід від різнотипних незалежно функціонуючих підсистем до провадження інтегрованих систем зв'язку та передачі даних як сукупності уніфікованих багатофункціональних, широкодіапазонних радіостанцій та комутаційних пристроїв, які об'єднані єдиною системою управління, що забезпечують передачу потоків різнотипної інформації (мовні сигнали, дані, графічні та відео зображення) [1-2].

В якості основних режимів роботи для перспективних засобів радіозв'язку використовуються метод ортогонального частотного розділення з мультиплексуванням (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) [3] та метод псевдовипадкової перестройки робочої частоти (ППРЧ)[4].

За рахунок використання технології OFDM досягається висока швидкість передачі за рахунок одночасної передачі даних по всіх підканалах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою. Основними перевагами даного методу є відносно висока стійкість щодо частотно-селективних завмирань і вузькосмугових завад, а також висока спектральна ефективність. Спектральна щільність потужності завад при прийманні після прямого перетворення Фур'є розподіляється практично по всіх частотних підканалах, що або усклад-

нює, або й зовсім унеможливує приймання OFDM-сигналу [5]. Отже, зазначена технологія не забезпечує стійкої роботи в умовах активного радіоелектронного подавлення.

Для методу ППРЧ принцип боротьби з завадами полягає в розміщенні інформаційного сигналу з малою розмірністю в високорозмірному просторі сигналу. В таких умовах постановник завад повинен або розподіляти обмежену потужність завад по всьому простору радіосигналу, тим самим створювати малу спектральну щільність потужності завад, або використовувати всю потужність передавача завад в малому підпросторі, залишаючи частину простору радіосигналу вільною від завад. Однією із важливих характеристик засобів радіозв'язку з розширенням спектру з точки зору завадозахищеності є коефіцієнт розширення спектру. Цей коефіцієнт характеризує міру збільшення відношення сигнал-завада в результаті згорання розширеної смуги частот радіосигналу та приведення її до смуги частот інформаційного сигналу. В загальному випадку, незалежно від методу розширення спектру, вираз для коефіцієнта розширення спектру можна отримати шляхом представлення сигналу сумою ортогональних сигналів, які розташовані в  $N$ -вимірному геометричному просторі [4]. Для методу ППРЧ характерними недоліками є: низька швидкість передачі інформації та відсутність механізмів боротьби з завмираннями, що призводять до появи пакетів помилок у каналі зв'язку.

В роботі [6] було проведено розробку методики вибору режимів роботи перспективних програмованих засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад, яка здійснює вибір режимів роботи та параметрів режимів засобів військового радіозв'язку в складній радіоелектронній обстановці. Недоліками зазначеної методики є обмеженість

науково-методичного апарату лише для напрямку військового радіозв'язку та непристосованістю роботи в складі мережі військового радіозв'язку з динамічною зміною топології.

Все вище сказане обумовлює актуальну наукову проблему управління радіочастотним ресурсом систем військового радіозв'язку в складній радіоелектронній обстановці. Зазначену проблему пропонується вирішувати шляхом:

- адаптивного управління режимами роботи засобів військового радіозв'язку з корегуванням параметрів засобів військового радіозв'язку в кожному режимі роботи під час ведення сеансу радіозв'язку;

- адаптивним вибором раціонального маршруту передачі інформації в залежності від режиму роботи, передаваної інформації та завантаженості системи радіозв'язку.

Тому *метою статті* є розробка методики адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку з метою підвищення завадозахищеності функціонування системи військового радіозв'язку.

## Постановка завдання

*Задано:* параметри засобів військового радіозв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , де  $\Psi_1 \dots \Psi_n$  – кількість (сукупність) піднесучих, кількість робочих частот для перестройки, коефіцієнт розширення спектру, потужність передавача, відношення сигнал/шум в каналі (задається для кожного підканалу окремо), робоча частота, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), смуга пропускання каналу зв'язку, набір коригувальних кодів з відповідними параметрами: швидкість коригувального коду, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вираш порівняно з модуляцією без кодування. Початковий режим роботи, який забезпечує мінімально необхідну швидкість передачі інформації  $v_{i \text{ доп}}$ , передбачає використання усіх піднесучих та робочих частот, багатопозиційної квадратурної амплітудної маніпуляції (КАМ-М) та багатопозиційної фазової маніпуляції (ФМ-М) та коригувального коду із заданою швидкістю ( $R = 0,5$ ). Початковий набір методів маршрутизації, що забезпечує своєчасну та достовірну передачі інформації до адресата.

*Необхідно:* визначити параметри сигналу (кількість активних піднесучих, кількість робочих частот, що будуть використовуватися при передачі повідомлень, сигнально-кодову конструкцію для кожної піднесучої та робочої частоти (вид модуляції та коригувального коду), маршрут передачі інформації при яких максимізується енергетична ефективність СРЗ  $\beta_E$  при виконанні обмежень на швидкість передачі інформації  $v_i \geq v_{i \text{ доп}}$ .

*Обмеження:* вид коригувального коду – згорточні коди зі швидкостями  $R = \left(\frac{1}{4}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{3}{4}\right)$ ; вид

сигналу – для методу ППРЧ ФМ-8 та КАМ-16, для методу OFDM КАМ-М та ФМ-М, розмірність маніпуляції  $M = (16, 32, 64, 128, 256)$ , кількість піднесучих  $N$  ( $N = 256$ ); кількість робочих частот -  $n$  ( $n = 256$ ), максимально допустима ймовірність помилкового приймання сигналів

$$P_{\text{б доп}} = 10^{-2}, 10^{-1} \leq P_{\text{б1}} \leq 10^{-3}, 10^{-4} \leq P_{\text{б2}} \leq 10^{-6},$$

швидкість перестройки робочої частоти  $v_{\text{пер}}$   $100 \leq v_{\text{пер}} \leq 300$ ; тип завад – адитивні; метод маршрутизації – інтелектуальний; тип модемів – когерентні.

*Допущення:* стан передатної характеристики каналу зв'язку  $H_{\text{заг}}$  перед передачею чергового символу відомий та не змінюється під час передачі символу; амплітудна характеристика підсилювача потужності передавача лінійна, нелінійні спотворення сигналу відсутні, потужність передавача є незмінною  $P_{\text{прд}} = \text{const}$ .

## Виклад основного матеріалу дослідження

Завдання визначення раціональних параметрів систем військового радіозв'язку з мінімальною ймовірністю бігової помилки зводяться до типової оптимізаційної задачі. Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд:

$$\begin{cases} P_{\text{б}} = F_1(v_i, \Delta F, M, n, R, d, P_c, N_A, \sigma) \rightarrow \min; \\ v_i = F_2(M, R, N_A, \Delta F, v_{\text{пер}}, d, \sigma) \geq v_{i \text{ доп}}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $M$  – розмірність ансамблю сигналів,  $d$  – Евклідова відстань між точками сигнального сузір'я,  $\sigma$  - використовує мий режим роботи,  $N_A$  - кількість активних піднесучих,  $R$  – швидкість коректувального коду ( $R = k/n$ ),  $k$  – кількість інформаційних біт в кодовій комбінації довжиною  $n$ ,  $\Delta F$  – ширина смуги частот каналу,  $P_c$  - потужність передавача.

Методика адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку, алгоритм реалізації якої подано на рис. 1, складається з таких етапів.

1. *Введення вихідних даних (дія 1 на схемі алгоритму).* Вводяться параметри передавальних пристроїв і каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ , а також значення мінімально необхідної швидкості передачі  $v_{i \text{ доп}}$  та ймовірності бігової помилки  $P_{\text{б}}$ .

2. *Оцінка стану каналу зв'язку (дія 2).*

Оцінка відбувається наступним чином:

- визначається модель каналу;
- визначається алгоритм прийняття рішень на приймальній стороні (оптимальний, підпотимальний);
- визначення типу завад та завмирань сигналу.

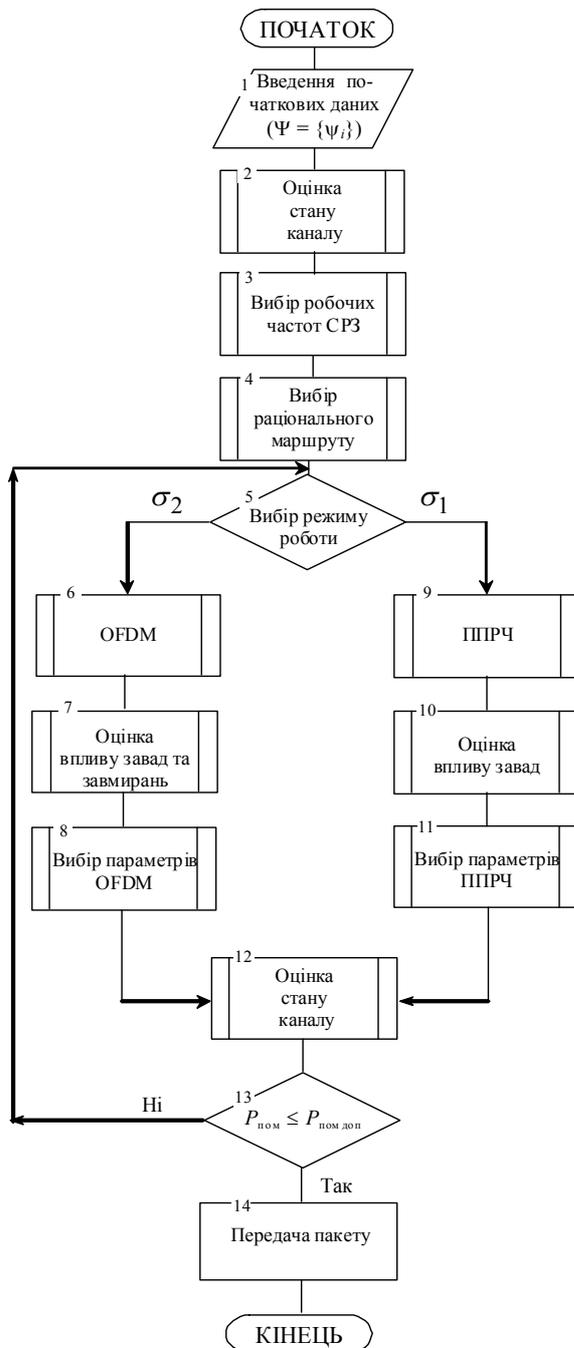


Рис. 1. Алгоритм реалізації методики адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку

### 3. Вибір робочих частот системи радіозв'язку (СРЗ) (дія 3).

На підставі розроблених в роботах [7, 8] алгоритмів вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку здійснюється аналіз радіочастотного ресурсу під час якого здійснюється визначення подавлених частотних діапазонів та стратегії комплексів радіоелектронного подавлення.

### 4. Вибір раціонального маршруту передачі інформації (дія 4).

Використовуючи результати, які були отримані в [9] здійснюється побудова раціонального маршруту

доставки повідомлення з урахуванням радіоелектронної обстановки, типу та топології системи радіозв'язку, а також типу та важливості передаваної інформації.

### 5. Здійснення вибору режиму роботи засобу радіозв'язку (дія 5).

Під час виконання зазначеної дії здійснюється вибір режиму роботи програмованих ЗРЗ.

Детально розглянемо та обґрунтуємо правило вибору режиму роботи для засобів військового радіозв'язку. Для каналів з адитивним білим гаусівським шумом ймовірність бітової помилки  $P_b$  залежить від відношення сигнал/шум  $Q_0^2$  на прийомі. В середовищі поширення потужність сигналу змінюється з відстанню або з часом випадковим чином – в результаті екранування та/або багатопроменевого поширення. Тому в каналі з замираннями відношення сигнал/шум  $Q_0^2$  є випадковою величиною.

Ймовірність бітової помилки  $P_b$  можна охарактеризувати за допомогою 3-х показників:

- ймовірність переривання зв'язку  $P_{пер}$ , що визначається як ймовірність того, що відношення сигнал/шум  $Q_0^2$  стане менше заданого значення, що відповідає мінімальній допустимій ймовірності бітової помилки;

- середня ймовірність бітової помилки  $P_{б,сер}$ , що усереднена по розподіленню від відношення сигнал/шум  $Q_0^2$ ;

- комбінація середньої ймовірності бітової помилки  $P_{б,сер}$  та ймовірності перерви радіозв'язку, що визначається як середня ймовірність бітової помилки, яка може бути досягнута на протязі деякого часу, або в деякому просторі.

В роботі розглядаються найбільш складні замирання, що описуються законом Релея (у яких відсутня регулярна складова сигналу (з постійними параметрами)).

Фаза замиряючого сигналу  $\Theta_{фл}$  розподілена за рівномірним законом в інтервалі  $[0, 2\pi]$  [4, 5].

Розрахуємо ймовірність перерви зв'язку для релеєвських замирань [4, 5]:

$$P_{пер} = \int_0^{Q_{min}^2} \frac{1}{Q_{сер}^2} e^{-Q_{min}^2/Q_{сер}^2} dQ_{сер}^2 = \frac{1 - e^{-Q_{min}^2/Q_{сер}^2}}{Q_{сер}^2} \cdot (2)$$

Звідси отримуємо, що необхідне середнє значення відношення сигнал/шум  $Q_{сер}^2$ , що забезпечує задану ймовірність перерви зв'язку, описується так:

$$Q_{сер}^2 = \frac{Q_{min}^2}{-\ln(1 - P_{пер})} \cdot (3)$$

В децибелах це означає, що значення  $10 \log Q_{сер}^2$  повинно перевищувати задане мінімальне значення  $10 \log Q_{сер}^2$  на величину

$$F_d = -10 \log \left[ -\ln(1 - P_{\text{пер}}) \right], \quad (4)$$

щоб підтримати прийнятні якісні показники на протяжні більш ніж  $100 \cdot (1 - P_{\text{пер}})$  відсотків часу. Величину  $F_d$  як правило називають запасом на завмирання [4].

Отже, на підставі виразів (2)-(4) в якості першої умови зміни режиму роботи ППРЧ до OFDM візьмемо ймовірність перерви зв'язку  $P_{\text{пер}}$ . Значення енергетичного запасу на завмирання  $F_d$  для сигналів типу ФМ-2, ФМ-4, ФМ-8 та КАМ-16 наведені в роботах [5, 10].

Отже, проведемо обґрунтування обмеження для кожного з основних режимів роботи  $\sigma$  програмованих ЗРЗ. В якості першого режиму роботи  $\sigma_1$  програмованих ЗРЗ будемо вважати режим роботи з ППРЧ, а в якості другого  $\sigma_2$  - OFDM.

Умовно розділимо на групи вимоги до:

ймовірності бітової помилки  $10^{-1} \leq P_{\text{біт}} \leq 10^{-3}$   
та  $10^{-4} \leq P_{\text{біт}} \leq 10^{-6}$ ;

швидкості передачі  $v_1 = 8-32$  кбіт/с та  $v_2 > 384$  кбіт/с.

Правило вибору режимів роботи перспективних програмованих засобів військового радіозв'язку наведено в роботі [6].

*4. Оцінка впливу навмисних завад та завмирань сигналу для режиму OFDM (дія 7).*

Використовуючи результати математичного моделювання функціонування програмованих засобів військового радіозв'язку (ЗРЗ) з OFDM, що наведені в роботі [5], а також за допомогою відомих математичних моделей, здійснюється аналіз деструктивного впливу навмисних завад та завмирань сигналу на процес функціонування ЗРЗ з OFDM. Визначаються заходи, спрямовані на боротьбу з навмисними завадами та завмираннями сигналу, та визначаються попередні параметри ЗРЗ з OFDM та каналу зв'язку.

*5 Оцінка впливу навмисних для режиму ППРЧ (дія 10).*

Використовуючи результати математичного моделювання функціонування програмованих ЗРЗ з ППРЧ, що наведені в роботі [10] відомих математичних моделей здійснюється аналіз деструктивного впливу навмисних завад на процес функціонування ЗРЗ з ППРЧ. Визначаються заходи, спрямовані на боротьбу з навмисними завадами, здійснюється прогнозування стратегії постановника завад та визначаються попередні параметри ЗРЗ з ППРЧ та каналу зв'язку.

*6. Вибір параметрів сигналу для режиму OFDM (дія 8).*

Після проведення оцінки впливу навмисних завад та завмирань сигналу для режиму OFDM,

проводиться вибір раціональних значень параметрів сигналу, де за допомогою проведеного математичного моделювання (дія 7), здійснюється початкове введення параметрів ЗРЗ та каналу зв'язку, відбувається вибір раціональних значень параметрів для режиму OFDM, за розробленою в роботі [11] методики вибору раціональних значень параметрів сигналу для ЗРЗ з OFDM в умовах впливу навмисних завад та завмирань сигналу.

*7. Вибір параметрів сигналу для режиму ППРЧ (дія 11).*

Після проведення оцінки впливу навмисних завад для режиму ППРЧ, проводиться вибір раціональних значень параметрів сигналу, де за допомогою проведеного математичного моделювання (дія 10) здійснюється початкове введення параметрів ЗРЗ та каналу зв'язку, а також відбувається вибір раціональних значень параметрів для режиму, за розробленою в роботі [12] методики формування раціональних значень параметрів сигналу для ЗРЗ з ППРЧ.

*8. Здійснення аналізу стану каналу зв'язку (дія 12).*

За допомогою методів аналізу стану каналів зв'язку, запропонованих у роботах [13-15] здійснюється оцінювання стану каналу зв'язку, на підставі якого здійснюється прийняття рішення щодо відповідності характеристик каналу зв'язку вимогам, що висуваються до його якості.

*9. Перевірка виконання вимог з завадозахищеності для кожного з режимів (дія 13).*

У разі відповідності стану каналу зв'язку параметрам, що задовольняють тому типу інформації, яка передається по каналу зв'язку, здійснюється передача пакету, якщо ні, здійснюється передача пакету та передається інформація про теперішній стан каналу зв'язку для коригування вибору режиму роботи, що дозволить зменшити час прийняття рішення, щодо доцільності використання режиму роботи.

## Висновки

1. Розроблено методику адаптивного управління параметрами систем військового радіозв'язку, сутність якої полягає у адаптивному управлінні маршрутом передачі інформації, в залежності від типу передаваної інформації, режимом роботи засобів військового радіозв'язку та параметрами засобів радіозв'язку системи військового радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки за критерієм мінімуму ймовірності бітової помилки при виконанні обмежень на швидкість передачі інформації.

Зазначена методика підвищує ефективність засобів радіозв'язку при дії навмисних завад та частотно-селективних завмирань за рахунок формуван-

ня раціонального маршруту передачі інформації та зміни режимів роботи ЗРЗ із застосуванням адаптивних алгоритмів формування і обробки сигналів.

Використання розробленої методики дозволить підвищити завадозахищеність системи радіозв'язку на 12-15% у порівнянні з відомими.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики адаптивного управління топологією радіомереж спеціального призначення.

## Список літератури

1. Романюк В.А. Направления развития тактических сетей связи / В.А. Романюк // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63–65.

2. Шишацький А.В. Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А.В. Шишацький О. М. Баширов, О.М.Костина // Науково-техн. журнал “Озброєння та військова техніка”. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2015. – № 1(5). – С. 35–40.

3. Кувшинов О.В. Напрямки вдосконалення технології OFDM при впливі навмисних завад / О.В. Кувшинов, Л.Л. Бортнік, О.Г. Жук // Збірник наукових праць ВІКНУ. – 2011. – Вип. 30. – С. 121–126.

4. Основи теорії телекомунікацій : підручник / [О.В. Корнейко, О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк та ін.]; за заг. ред. М.Ю. Ільченка. - К.: Політехніка, 2010. - 786 с.

5. Шишацький А.В. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Борознюк, І.Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – № 3. – С. 181-186.

6. Шишацький А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Х.: ХУПС, 2016. – № 2(23). – С. 135-137.

7. Шишацький А.В. Алгоритм вибору робочих частот для засобів військового радіозв'язку в умовах впливу навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Ольшанський, Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2. – С. 62-66.

8. Шишацький А.В. Методика вибору резервних робочих частот в системах радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти/ А.В. Шишацький,

О.В. Кувшинов // Дванадцята наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології - для захисту повітряного простору”, тези доповідей, 13-14 квітня 2016 року. -Х.:ХУПС ім. І. Кожедуба, – 2016. – С. 214.

9. Романюк В.А. Адаптивна маршрутизація в мобільних радіосетях / В.А. Романюк // Зв'язок.—№ 3. – 2002. – С. 21-25.

10. Шишацький А.В. Оцінка впливу навмисних завад на системи радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти / А.В. Шишацький, В.В. Лютов, М.В. Зірка, Н.П. Кадет // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2015. № 4(52). – С. 37–44.

11. Шишацький А.В. Методика формування сигнально-кодівих конструкцій OFDM-сигналу в умовах впливу навмисних завад та селективних завмирань / А.В. Шишацький // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 7 (132). – С. 71–77.

12. Шишацький А.В. Удосконалена методика вибору сигнально-кодівих конструкцій для систем радіозв'язку з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти в умовах впливу навмисних завад / А.В. Шишацький, В.В. Ольшанський // VIII Науково-практична конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення з урахуванням досвіду АТО”, тези доповідей, 29 жовтня 2015 року. – К.: ВІТІ: – 2015, – С. 221-222.

13. Шишацький А.В. Аналіз існуючих методів оцінки стану каналу зв'язку / А.В. Шишацький, В.В. Лютов / VI Науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”. тези доповідей, 15-19 грудня 2015 року. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України: – 2015 – С. 398.

14. Толюпа С.В. Аналіз методів оцінки багатопроменового каналу зв'язку / С.В. Толюпа, Т.Г. Гурський, О.І. Восколович // Збірник наукових праць „Вісник ДУІКТ”. – 2011. – Вип. 2 – С. 21–27.

15. Кувшинов О. В. Метод ітеративної оцінки стану каналів системи МІМО / О.В. Кувшинов, О.І. Восколович // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – Вип. 26 – К.: КНУ, 2011. – С. 33–36.

Надійшла до редколегії 18.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ.

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕННЯ ПАРАМЕТРАМИ СИСТЕМ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.Г. Жук

В статье предложено методику адаптивного управления параметрами систем военной радиосвязи, которые функционируют в сложных условиях радиоэлектронной обстановки, которая основана на адаптивном управлении режимами работы и маршрутами передачи информации в зависимости от типа передаваемой информации и сигнально-помеховой обстановки.

**Ключевые слова:** сигнально-помеховая обстановка, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление, преднамеренные помехи.

## METHOD OF ADAPTIVE PARAMETER MANAGEMENT OF SYSTEMS MILITARY RADIO COMMUNICATION

A.G. Zhuk

In article offer method of adaptive parameter management of systems military radio communication, which work in hard conditions radio electronic furnished, which based on adaptive management mode of work and route of information transmission in dependence from type transmitted information and signal-jamming environment.

**Keywords:** signal-jamming environment, speed of information transfer, bit error probability, radio-electronic suppression, intentional jamming.

УДК 355/359.07

А.О. Зінченко

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНИХ СТАНЦІЙ ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ЗА ПОКАЗНИКОМ ВЕЛИЧИНИ МАТЕМАТИЧНОГО СПОДІВАННЯ ВІДВЕДЕНОГО ЗБИТКУ

У статті удосконалено методику розрахунку ефективності системи протиповітряної оборони тактичної ланки за показником величини математичного сподівання відведеного збитку за умови розгортання інформаційно-телекомунікаційної решітки поля бою на основі запропонованої раніше багатопозиційної системи мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки. Встановлені аналітичні залежності свідчать про збільшення ефективності угруповання протиповітряної оборони в залежності від збільшення ймовірності виявлення засобів повітряного нападу групою радіолокаційних засобів у випадку застосування системи, що пропонується.

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, радіолокаційна розвідка, цифрова антенна решітка, математичне сподівання.

### Вступ

Однією із характерних тенденцій розвитку засобів збройної боротьби є їх інтеграція у розвідувально-ударні та розвідувально-вогнєві комплекси. Одночасно різко зростає значення інформаційного забезпечення військ [1]. Зростаючі обсяги інформації від розвідувальних систем різного призначення потребують каналів зв'язку з підвищеною пропускнуною спроможністю. В [2 – 4] була запропонована ідея створення багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокації на полі бою із застосуванням у кожній позиції мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки оснащених цифровими антенними решітками та функціонуючих у режимі мультикористувальницького МІМО (множинний вхід – множинний вихід) з сигналами мультиплексування з ортогональним та неортогональним частотним розділенням каналів. В подальшому були розроблені моделі функціонування мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки та методи спільної та роздільної селекції сигналів зв'язку і радіолокації у таких системах [5, 6]. Для охоплення всіх аспектів функціонування запропонованої системи вважається за доцільне дослідити її ефективність. Через відсутність методичного апарату оцінювання ефективності інтегрованої системи зв'язку та радіолокації запропоновано розглянути окремо телекомунікаційну та радіолокаційну складові. В [7] була досліджено ефективність виконання завдань протиповітряної оборони (ППО) за математичним сподіванням збитих цілей за час нальоту засобів повітряного нападу (ЗПН) М. Але при визначенні розглянутого показника М не передбачається використання відомостей про тип, бойові спроможності, напрям зосередження зусиль повітряного противника, за-

вдання та безпосереднє призначення в ударі кожного засобу повітряного нападу, важливість об'єктів прикриття. Тому заслуговує на увагу споріднена до розглянутого показника ефективності угруповання ППО величина математичного сподівання відверненого збитку об'єктам оборони в результаті відбиття ударів засобів повітряного нападу (ЗПН) противника  $M_y$  [7]. Цей показник є досить важливим також через можливість використання його для оцінки живучості угруповання ППО, якщо в якості збитків розглядати наслідки ураження об'єктів інфраструктури системи ППО - зенітно-ракетні комплекси, радіолокаційні станції, пункти управління тощо. Таке альтернативне тлумачення математичного сподівання відверненого збитку є цілком виправданим при розгляді початкової фази військового конфлікту, коли об'єкти ППО фігурують переважно як основні об'єкти ураження.

Тому **метою статті** є дослідження ефективності системи ППО тактичних частин та підрозділів на основі багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокаційної розвідки із застосуванням у кожній позиції мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки оснащених цифровими антенними решітками та функціонуючих у режимі мультикористувальницького МІМО за показником величини математичного сподівання відверненого збитку об'єктам оборони в результаті відбиття ударів ЗПН противника.

### Викладення основного матеріалу

При формалізації поняття математичного сподівання відверненого збитку об'єктам прикриття  $M_y$  будемо орієнтуватися на ситуацію, коли визначеним угрупованням ППО поставлене завдання прикриття від ударів з повітря локальної групи з  $K$  об'єктів [7].

Доцільно вважати, що в ударі по К-му об'єкту групи, що прикривається системою ППО, може брати участь  $n$  ЗПН ( $n = 1, \dots, N$ ). У найпростішому випадку можна припустити, що ймовірність дії ЗПН по кожному з об'єктів однакова. Кожен ЗПН діє лише по одному з  $K$  об'єктів (цілком доречно, якщо в якості ЗПН розглядати крилаті ракети або БПЛА-“камікадзе”), і ймовірність ураження усіх наземних об'єктів є константою  $P_{ПО}$ . При цьому самий факт влучення засобу ураження в об'єкт прикриття буде тлумачити як знищення цього об'єкта. У такому разі за умови відсутності протидії з боку системи ППО математичне сподівання відверненого збитку може бути визначене виразом:

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times b), \quad (1)$$

де  $b$  - ймовірність дії ЗПН по окремо взятому об'єкту прикриття, яка визначається при плануванні бойових дій, виходячи з аналітичної діяльності штабів угруповань ППО та важливості об'єктів прикриття, визначеної експертним шляхом.

Показник (1) описує кількість об'єктів прикриття, що unikнуть знищення після ударів ЗПН. Однак вираз (1) не враховує ймовірність протидії засобів ППО. Тому його доцільно модифікувати, помноживши ймовірність ураження наземних об'єктів на додатковий коефіцієнт у вигляді:

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times (1 - Z) \times b), \quad (2)$$

де  $Z$  – ймовірність протидії угруповання ППО удару засобів повітряного нападу.

Зазначену ймовірність протидії угруповання ППО доцільно виразити через добуток ймовірності ураження самих ЗПН системою ППО з урахуванням ймовірності виявлення ЗПН мережею радіолокаційних станцій. За умови, що всі зазначені ймовірності не залежать від конкретного зразка ЗПН, отримуємо величину

$$Z = P_{BG} \times P_{ПЗПН} \times K_{кер} \times K_{БГ}, \quad (3)$$

де  $P_{BG}$  - загальна ймовірність виявлення ЗПН групою із  $G$  радіолокаційних засобів;

$P_{ПЗПН}$  - ймовірність ураження ЗПН засобами ППО;

$K_{кер}$  - коефіцієнт керованості угруповання ППО;

$K_{БГ}$  - коефіцієнт боєготовності цільового каналу.

Підставимо (3) в (2):

$$M_Y = K \times (1 - P_{ПО} \times (1 - P_{BG} \times P_{ПЗПН} \times K_{кер} \times K_{БГ}) \times b). \quad (4)$$

Отриманий вираз може бути використаний для порівняльної оцінки різних варіантів побудови так-

тичної групи зенітно-ракетних військ змішаного складу.

Формула (4) ілюструє загальний механізм врахування спроможностей радіолокаційних засобів для розрахунку відвернених системою ППО збитків об'єктам прикриття.

Наприклад, для того, щоб повністю відвернути збитки від ударів повітряного противника, необхідно забезпечити виконання умов  $P_{ПЗПН} = 1$ ,  $P_{BG} = 1$ ,  $K_{кер} = 1$ ,  $K_{БГ} = 1$ , тобто  $Z = 1$ .

Нескладно помітити, що залежності (2), (4) мають лінійний характер. Для більш детального їх аналізу було проведено розрахунки у пакеті Mathcad.

Його результати проілюстровані на рис. 1.

По вертикалі відкладено кількість збережених об'єктів локальної групи при початковій їх кількості  $K = 100$ , по горизонталі – ймовірність протидії з боку угруповання ППО.

Нижня лінія відповідає ймовірності ураження наземних об'єктів  $P_{ПО} = 0,9$ , середня -  $P_{ПО} = 0,7$ ; верхня -  $P_{ПО} = 0,5$ .

З наведених графіків видно, що чим більше ймовірність протидії ППО удару ЗПН, тим менше розкид у величині математичного сподівання відверненого збитку.

Наприклад, при  $Z = 0,7$  різниця у відверненому збитку для зазначеного коридору зміни ймовірності ураження наземних об'єктів  $P_{ПО} = 0,5 \dots 0,9$  не перевищує 10 об'єктів, тоді як при  $Z = 0,1$  ця величина наближається до 40.

Якщо у виразі (4) в якості  $K$  об'єктів розглядати ті ж таки мобільні станції зв'язку та радіолокаційної розвідки, то в якості величини, що характеризує живучість мережі мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки в умовах дії ЗПН противника можливо використати відсотковий показник:

$$W = \frac{M_Y}{K} \times 100 \%, \quad (5)$$

який описує відсоток мобільних станцій зв'язку та радіолокаційної розвідки, що формально можуть зберегти свою працездатність (живучість) після повітряного удару.

У такому сенсі рис. 1 ілюструє живучість групи з  $K$  об'єктів у відсотках, характеризуючи відсоткову частку вцілілих об'єктів від початкової їхньої кількості.

Цілком очевидно, що, спираючись на такі досить спрощені показники, далі можливо більш ретельно врахувати різнопланові аспекти та деталі, що дозволять наблизити аналітичні розрахунки математичного сподівання відверненого збитку до практично досяжних значень.

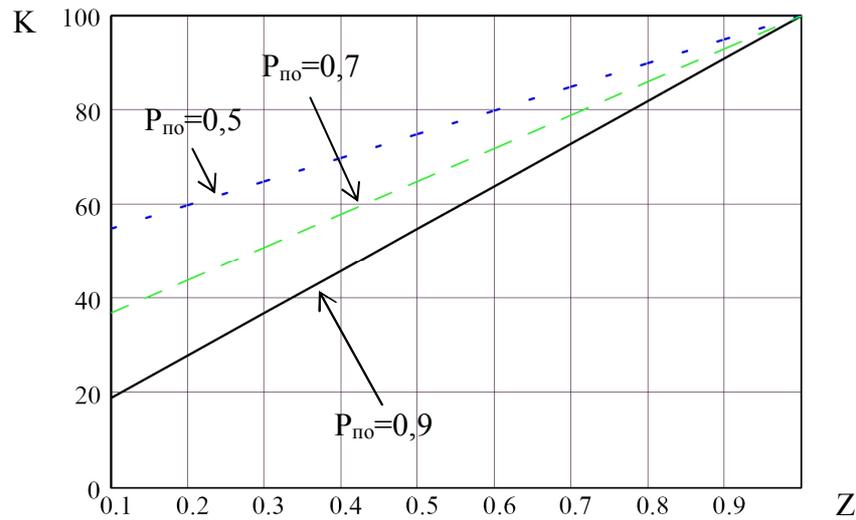


Рис. 1. Залежність математичного сподівання відверненого збитку від ймовірності протидії угруповання ППО

Першим кроком у цьому напрямку має бути врахування неідентичності умов ураження об'єктів

прикриття, що може бути здійснене шляхом переходу від (4) до виразу:

$$\begin{aligned}
 M_Y &= K - \sum_{k=1}^K \left( P_{\text{ПО},k} \times (1 - P_{\text{ВГ}} \times P_{\text{ПЗПН}} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times b_k \right) = \\
 &= K - (1 - P_{\text{ВГ}} \times P_{\text{ПЗПН}} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times b_k).
 \end{aligned} \quad (6)$$

Оскільки в ситуації, що розглядається, кожен засіб повітряного нападу діє лише по одному з  $K$  об'єктів, цілком доречно кожному  $k$ -му об'єкту поставити у відповідність  $k$ -й засіб повітряного нападу.

У випадку врахування неідентичності ймовірностей виявлення кожного ЗПН радіолокаційними засобами та різних ймовірностей ураження ЗПН засобами ППО, що утворюють змішане угруповання, вираз (6) слід переписати у вигляді:

$$\begin{aligned}
 M_Y &= K - \sum_{k=1}^K \left( P_{\text{ПО},k} \times (1 - P_{\text{ВГ},k} \times P_{\text{ПЗПН},k} \times K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}}) \times b_k \right) = \\
 &= K - \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times b_k) + K_{\text{кер}} \times K_{\text{БГ}} \times \sum_{k=1}^K (P_{\text{ПО},k} \times P_{\text{ВГ},k} \times P_{\text{ПЗПН},k} \times b_k).
 \end{aligned} \quad (7)$$

Наступним кроком узагальнення може бути врахування припущення, що ураження кожного з об'єктів прикриття здійснюється кількома засобами повітряного нападу, причому розподіл наявних ЗПН по виконанню завдань з нанесення ударів по наземних об'єктах цілком логічно вважати нерівномірним.

Інший варіант гіпотези про дії засобу повітряного нападу полягає в орієнтації на спроможність кожного ЗПН наносити удари одночасно по кількох наземних об'єктах.

Однак зазначені та інші види узагальнень виразів (6), (7) виходять за рамки даної статті, оскільки не вносять принципових змін до вже зроблених висновків щодо ефективності застосування технологій цифрових антенних решіток та МІМО у багатопозиційній системі радіолокаційних засобів.

## Висновки

У статті удосконалено методику розрахунку ефективності системи протиповітряної оборони тактичної ланки за показником величини математичного сподівання відведеного збитку за умови застосування технологій цифрових антенних решіток та МІМО у системі багатопозиційних радіолокаційних засобів.

Відмінність методики полягає у врахуванні ймовірності протидії угруповання протиповітряної оборони удару засобів повітряного нападу, що у свою чергу залежить від загальної ймовірності виявлення засобів повітряного нападу групою радіолокаційних засобів.

Удосконалена методика дозволяє врахувати відомості про тип, бойові спроможності, напрям зосе-

редження зусиль повітряного противника, завдання та безпосереднє призначення в ударі кожного засобу повітряного нападу та інші різнопланові аспекти, що дозволяє наблизити аналітичні розрахунки математичного сподівання відверненого збитку до практично досяжних значень.

**Напрямок подальших досліджень** можливо вважати розробку комплексної методики оцінки ефективності функціонування багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку та радіолокаційної розвідки, яка буде враховувати показники притаманні як системі зв'язку так і системі протиповітряної оборони.

## Список літератури

1. Лаврут О.О. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України / О.О. Лаврут, О.К. Климович, Т.В. Лаврут // Системи обробки інформації. – Х. : ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 116-120.
2. Слюсар В. І. Багатопозиційна система мобільних станцій зв'язку та радіолокації / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали 18 науково-практичної конференції “Проблеми створення, розвитку та застосування інформаційних систем спеціального призначення”, 15 квітня 2011 року. – Житомир: Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Національного авіаційного університету, 2011. – С. 105 – 106.
3. Слюсар В. І. Мультикористувальницький метод МІМО в інтегрованій системі зв'язку та радіолокації з багатосекційними ЦАР / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали науково-практичного семінару “Принципи побудови інформаційно-телекомунікаційних вузлів оперативної та стратегічної ланок управління Збройних Сил

України”, 2 грудня 2010 року. – К.: Національний університет оборони України, 2010. – С. 80 – 82.

4. Слюсар В. І. Конвергенція систем зв'язку та радіолокаційної розвідки / В. І. Слюсар, А. О. Зінченко // Матеріали науково-технічної конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”, 16-17 грудня 2010 року. – К.: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, 2010. – С. 95 – 97.

5. Зінченко А. О. Модель багатопозиційної інтегрованої системи зв'язку і радіолокації на основі мультикористувальницького методу МІМО. / А. О. Зінченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №2(30). – С. 124 – 130.

6. Зінченко А. О. Метод селекції радіоімпульсів на фоні N-OFDM сигналів. / А. О. Зінченко // Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень Національного університету оборони України. – 2013. – № 1(47). – С. 29-32.

7. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха та ін. – Х.: ХВУ, 2004. – 410 с.

Надійшла до редколегії 9.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ СВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВЕЛИЧИНЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ ОТВЕДЕННОГО УЩЕРБА

А.А. Зинченко

В статье усовершенствована методика расчета эффективности системы противовоздушной обороны тактического звена по показателю величины математического ожидания отведенного ущерба при развертывания информационно-телекоммуникационной решетки поля боя на основе предложенной ранее многопозиционной системы мобильных станций связи и радиолокационной разведки. Установлены аналитические зависимости свидетельствуют об увеличении эффективности группировки противовоздушной обороны в зависимости от увеличения вероятности обнаружения средств воздушного нападения группой радиолокационных средств в случае применения системы, предлагается.

**Ключевые слова:** противовоздушная оборона, радиолокационная разведка, цифровая антенная решетка, математическое ожидание.

## THE EFFICIENCY OF THE MOBILE COMMUNICATION STATIONS AND RADAR EXPLORATION FOR SIZE INDICATOR EXPECTATION LEADS DAMAGES

A.O. Zinchenko

The paper improved the method of calculating the efficiency of air defense tactical level in terms of value of loss expectation given on condition deployment of information and telecommunication lattice battlefield based on the previously proposed system of multi mobile communication stations and radar reconnaissance. The established analytical dependence show an increase in the efficiency of air defense groups depending on the increase in the probability of detection of air attack by a group of radar equipment in case of a system that is offered.

**Keywords:** air defense, radar intelligence, digital antenna array, expectation.

УДК 621.391

С.М. Петрук, Р.М. Животовський

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СПОТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ В БАГАТОАНТЕННИХ СИСТЕМАХ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті запропонована математична модель спотворення сигналів в багатоантенних системах безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення, що базується на нових аналітичних співвідношеннях для оцінки впливу навмисних завад та завмирань сигналу для безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення.

**Ключові слова:** багатоантенні системи, безпілотні авіаційні комплекси, сигнально-кодова конструкція, швидкість передачі інформації, ймовірність бітової помилки, радіоелектронне подавлення.

### Вступ

Перспективні канали передачі даних безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) повинні забезпечувати передачу інформації у складній радіоелектронній обстановці [1, 2]. Цих цілей необхідно досягти в складних умовах багатопробного просторового каналу, в якому можливі глибокі завмирання сигналів, а також при жорстких обмеженнях на частотну смугу і потужність передавальних пристроїв, а також з врахуванням ефекту Доплера. Пропускна здатність та якість передачі інформації і каналі передачі даних БпАК можна значно підвищити за рахунок використання технології „багато входів - багато виходів” (Multiple-Input Multiple-Output - MIMO), яка дозволяє більш ефективно використовувати потужність передавача і боротися із завмираннями сигналів [3 – 5]. Підвищення ефективності досягається за рахунок використання методів просторово-часової обробки, що забезпечують передачу і приймання паралельних потоків інформації.

Проведемо формалізацію процесів, що виникають під час функціонування багатоантенних систем безпілотних авіаційних комплексів.

У загальному випадку структура системи MIMO має в своєму складі  $S$  передавачів (передавальних антен) і  $V$  приймачів (приймальних антен) (рис. 1).

Розглянемо MIMO-систему  $S \times V$ , зображену на рис. 1. де ППД – перетворювач потоку даних,  $S_i$  – передавач  $i$ -ого каналу,  $V_j$  – приймач  $j$ -ого каналу.

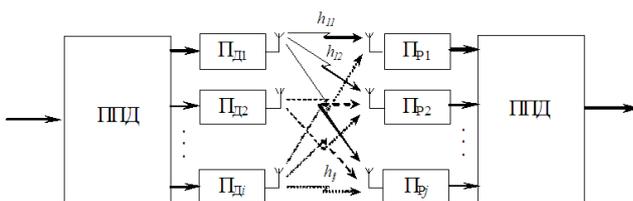


Рис. 1. Структура системи MIMO

Високошвидкісний потік даних розбивається на  $S$  незалежних послідовностей з  $1/S$  швидкості, які потім передаються одночасно з декількох антен, відповідно використовуючи тільки  $1/S$  їх первинної смуги частот.

Перетворювач потоку даних на передавальному кінці лінії зв'язку перетворює послідовний потік у паралельний, а на приймальному – виконує зворотне перетворення.

Матрицю стовбців  $\mathbf{A}$  сигналів передавального пристрою із  $S$  каналних передавачів та матрицю стовбців  $\mathbf{X}$  приймального пристрою із  $V$  каналних приймачів можна записати у вигляді:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} U_{t1} \\ \dots \\ U_{ti} \\ \dots \\ U_{tS} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} U_{r1} \\ \dots \\ U_{rj} \\ \dots \\ U_{rV} \end{bmatrix}.$$

Передаточна функція багатопробного каналу описується матрицею [5-6]:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1j} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{i1} & h_{i2} & \dots & h_{ij} \end{bmatrix},$$

де  $h_{ij}$  – передаточна функція між  $i$ -ою передавальною та  $j$ -ою приймальною антенами.

Амплітуди і фази коефіцієнтів  $h_{ij}$  в загальному випадку є випадковими величинами із-за інтерференції розсіяних сигналів. Якщо прямиий сигнал виявляється істотно ослабленим, то фаза коефіцієнтів буде рівноімовірно розподілена у межах  $[0, 2\pi]$ , а їх амплітуда розподілена за релеєвським законом. Тому такий канал називають релеєвським. Коли середня амплітуда не дорівнює нулю, тоді випадковий коефіцієнт передачі має райсовський розподіл, а канал називають райсовським.

Для збільшення швидкості передачі даних в системі МІМО використовується паралельна передача інформації. Вхідний потік даних перетворюється в просторово-часовому кодері. В результаті формується послідовність просторових символів, кожен з яких складається із символів, що одночасно випромінюються всіма антенами. До методів просторово-часового кодування, які не припускають наявності каналної інформації на передавальному кінці лінії зв'язку, можна віднести блочне, решітчасте кодування і, так звану, BLAST-технологію [5-7].

При блочному кодуванні вхідна послідовність символів розділяється на блоки, які обробляються (кодуються) спеціальним чином. Будь-яка з приймальних антен приймає суміш сигналів від всіх передавальних антен. Ці сигнали необхідно розділити, використовуючи деяке перетворення. Блочне кодування забезпечує таку структуру передаваного блоку, яка дозволяє виконати розділення переданих символів за допомогою простого лінійного перетворення в просторово-часовому декодері.

Для пояснення ідеї такого кодування досить розглянути випадок для двох передавальних і однієї приймальної антен, коли кодований блок складається з двох вхідних символів  $d_1$  і  $d_2$ . В результаті цього в перший момент часу паралельно випромінюються символи  $d_1$  і  $d_2$ , а в другий момент часу – символи  $d_1^*$  і  $-d_2^*$ . Тоді вважаючи, що каналні коефіцієнти є постійними за час передачі символів  $d_1$  і  $d_2$ , вектор прийнятих сигналів  $\mathbf{X}$  без урахування власного шуму можна представити у вигляді:

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}_{\text{block}} \mathbf{D}; \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2^* \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{H}_{\text{block}} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{11}^* & -h_{12}^* \end{pmatrix}; \quad \mathbf{D} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix}.$$

Вектор  $\mathbf{D}$  переданих символів можна знайти через  $(\mathbf{H}_{\text{block}})^{-1}$ , так як  $\mathbf{D} = (\mathbf{H}_{\text{block}})^{-1} \mathbf{X}$ . Проте матриця  $\mathbf{H}_{\text{block}}$  володіє такою властивістю, що

$$(\mathbf{H}_{\text{block}})^H \mathbf{H}_{\text{block}} = (|h_1|^2 + |h_2|^2) \mathbf{I},$$

тобто  $\mathbf{H}_{\text{block}} \sim (\mathbf{H}_{\text{block}})^{-1}$  та просторово-часовий декодер можна задати матрицею  $(\mathbf{H}_{\text{block}})^H$ . Тоді вихідний вектор  $\mathbf{Y} = (\mathbf{H}_{\text{block}})^H \mathbf{X} = (|h_1|^2 + |h_2|^2) \mathbf{D}$ .

Отже декодер забезпечує розділення переданих символів за допомогою простого лінійного перетворення і когерентного підсумовування сигналів з кожної передавальної антени. При цьому вихідні власні шуми будуть статично незалежні.

BLAST-технологія заснована на розділенні сигналів в приймальних антенах за допомогою методу найменших квадратів [7], який припускає знахо-

дження матриці псевдозворотньою до каналної матриці  $\mathbf{H}$ . Вектор вхідного процесу дорівнює  $\mathbf{X} = \mathbf{H}\mathbf{D} + \mathbf{N}$ , де  $\mathbf{N}(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T$  – вектор власних шумів. Відповідно до даного методу мінімізується величина  $|\mathbf{X} - \mathbf{H}\mathbf{D}|^2$ . В результаті неважко отримати [5 – 7], що  $\mathbf{D} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \mathbf{X}$ .

Інший метод кодування, що не вимагає наявності каналної інформації на передавальному кінці лінії зв'язку, це решітчасте просторово-часове кодування, яке є аналогом завадостійкого згорткового кодування, що використовується в сучасних системах зв'язку [5 – 7]. Число виходів кодера дорівнює кількості передавальних антен. Для декодування прийнятих сигналів використовуються методи максимальної правдоподібності, які зазвичай реалізуються за допомогою декодера Вітербі.

Тому *метою статті* є розробка математичної моделі спотворення сигналів в багатоантенних системах безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення.

## Постановка та вирішення завдання

Нехай в системі МІМО повідомлення передаються шляхом рівномірної передачі сукупності  $m$  інформаційних ортогональних сигналів по  $L$  каналам  $\{x_{Lm}(t)\}$ ,  $m \in \overline{1, M}$ ,  $L \in \overline{1, v}$  в  $L$ -мірному просторі за час  $T$ .

Довільний набір скінченних сигналів  $\{x_{1m}(t)\}, \dots, \{x_{vm}(t)\}$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ , виражається [7] лінійною комбінацією  $L$  ортогональних сигналів  $\omega_{11}(t), \omega_{12}(t), \dots, \omega_{1L}(t), \dots, \omega_{v1}(t), \omega_{v2}(t), \dots, \omega_{vL}(t)$ :

$$x_{1m}(t) = \sum_{n=1}^L x_{1mn} \omega_{1n}(t), \dots, x_{vm}(t) = \sum_{n=1}^L x_{vmn} \omega_{vn}(t),$$

де  $m = 1, \dots, M$ ,  $x_{Lmn}$  – коефіцієнт при  $\omega_{Ln}(t)$  розкладання сигналу по базисних функціях (коефіцієнт ортонормованого розкладання або проекція сигналів  $\{x_{1m}(t)\}, \dots, \{x_{vm}(t)\}$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$  на базиси  $\omega_{1n}(t), \dots, \omega_{vn}(t)$ ).

Сигнали  $x_{1m}(t), \dots, x_{vm}(t)$  називаються реалізацією  $m$ -ічного сигналу в момент часу  $t$ ,  $m$  – номер  $M$ -арного символу. При цьому

$$x_{1mn} = \int_0^T x_{1m}(t) \omega_{1n}(t) dt, \dots, x_{vmn} = \int_0^T x_{vm}(t) \omega_{vn}(t) dt.$$

У випадку обмеження по потужності передачі середня енергія кожного  $m$ -го сигналу  $x_{Lm}(t)$   $L$ -го каналу системи МІМО визначається як

$$\int_0^T x_{Lm}^2(t) dt = E_L, \quad L \in \overline{1, v}.$$

Для того, щоб скрити  $n$ -вимірний набір інформаційних сигналів в  $L$ - вимірному просторі радіосигналу сукупність коефіцієнтів  $x_{Lmn}$  повинна обиратися таким чином, щоб  $x_{Lmn}^2 = \frac{E_{Lc}}{L} \delta_{Lmn}$ . Таким чином, сигнали, псевдовипадкова послідовність яких відома на приймальному боці, але невідома постановнику завд, мають рівномірно розподілену енергію по  $N$ -базисним напрямкам.

Процеси флуктуаційного шуму записуються у вигляді [7]:

$$n_1(t) = \sum_{n=1}^N n_{1n} \omega_{1n}(t), \dots, n_v(t) = \sum_{n=1}^N n_{vn} \omega_{vn}(t).$$

Коефіцієнти шумового процесу,  $\{n_{1n}\}, \dots, \{n_{vn}\}, n=1,2,\dots,N$  є гаусівськими випадковими величинами з нульовим математичним сподіванням і дисперсіями  $\frac{G_{10}}{2}, \dots, \frac{G_{v0}}{2}$  відповідно.

Функції щільності розподілу ймовірності кожного коефіцієнта мають вигляд [6, 7]:

$$w_1(n_{1n}) = \xi_{1l} \left( 0, \frac{G_{10}}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi G_{10}}} \exp \left( -\frac{(n_{1n})^2}{G_{10}} \right), \dots,$$

$$w_v(n_{vn}) = \xi_{vl} \left( 0, \frac{G_{v0}}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi G_{v0}}} \exp \left( -\frac{(n_{vn})^2}{G_{v0}} \right).$$

Аналогічно для процесів навмисних завд, якщо вони мають вигляд білого гаусівського шуму:

$$j_l(t) = \sum_{n=1}^L j_{ln} \omega_{ln}(t), \dots, j_v(t) = \sum_{n=1}^L j_{vn} \omega_{vn}(t),$$

де коефіцієнти шумового процесу,  $\{j_{ln}\}, \dots, \{j_{vn}\}, n=1,2,\dots,L$ , також є гаусівськими випадковими величинами з нульовим математичним сподіванням і дисперсіями  $\frac{G_{13}}{2}, \dots, \frac{G_{v3}}{2}$ .

Для навмисних завд функції щільності розподілу ймовірності кожного коефіцієнта дорівнюють:

$$w_1(j_{1n}) = \eta_{1l} \left( 0, \frac{G_{13}}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi G_{13}}} \exp \left( -\frac{(j_{1n})^2}{G_{13}} \right), \dots,$$

$$w_v(j_{vn}) = \eta_{vl} \left( 0, \frac{G_{v3}}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{\pi G_{v3}}} \exp \left( -\frac{(j_{vn})^2}{G_{v3}} \right).$$

При цьому  $\int_0^T J_L^2(t) dt = G_{L3}$ , де  $G_{L3}$  – спектраль-

на щільність потужності завд  $L$ -го каналу системи МІМО.

В [6 – 7] показано, що відношення сигнал/шум на виході демодулятора сигналів одного з  $L$  каналів системи МІМО визначається відношенням

$$h_{L0}^2 = \frac{E_L}{G_{L0}} = \frac{P_L}{P_{L0}} \frac{N}{n},$$

де  $P_L$  – потужність сигналу для  $L$ -го каналу системи МІМО,  $P_{L0}$  – потужність шуму для  $L$ -го каналу системи МІМО,  $G_{L0}$  – спектральна щільність потужності шуму для  $L$ -го каналу системи МІМО.

Відношення сигнал/завд на виході демодулятора сигналів одного з  $L$  каналів системи МІМО визначається відношенням

$$h_{L3}^2 = \frac{E_L}{G_{L3}} = \frac{P_L}{P_{L3}} \frac{N}{n},$$

де  $P_L$  – потужність сигналу для  $L$ -го каналу системи МІМО,  $P_{L3}$  – потужність завд для  $L$ -го каналу системи МІМО,  $G_{L3}$  – спектральна щільність потужності завд для  $L$ -го каналу системи МІМО.

При оцінці завдозахищеності ЗРЗ з МІМО будемо розглядати наступні види навмисних завд: шумова загороджувальна завд, шумова завд в частині смуги та завд у відповідь, моделі яких представляють обмежений по смузі адитивний білий гаусівський шум [5, 7].

Отримаємо аналітичні залежності для розрахунку ймовірності бітової помилки при використанні  $M$ -позиційних сигналів з фазовою маніпуляцією (ФМ-М) та амплітудно-фазовою маніпуляцією (АФМ-М) для випадку передачі інформації по одному каналу системи МІМО в умовах впливу флуктуаційного шуму та навмисних завд.

У каналі з селективними завмираннями та білим шумом при когерентному прийманні відомих точних формул ймовірності бітової помилки для модуляції ФМ-М ( $M > 2$ ) [8-9]. У каналі з селективними завмираннями та білим шумом при когерентному прийманні відомих точних формул ймовірності бітової помилки для модуляції ФМ-М ( $M > 2$ ) [8-9]. Ймовірність бітової помилки в першому та другому біті

$$P_{0i} = P_{02} = \frac{2}{M} \sum_{m=1}^{M/4} \frac{1}{h_3^2 + 1 + \sqrt{h_3^2 (h_3^2 + 1)}}, \quad (1)$$

де  $h_3^2 = h_{0c}^2 B \sin^2((2m-1)\pi/M)$ ,  $h_{0c}^2 = \frac{h_0^2 (M-1)}{3(\sqrt{M}-1)^2}$ ,

$h_0^2 = \frac{E_0}{G_0}$ ,  $E_0$  – енергія біта,  $G_0$  – спектральна щільність потужності шуму,  $M = 2^B$  – розмірність сигнального сузір'я. Ймовірність помилки для біта  $i = \overline{3, B}$  дорівнює

$$P_{0i} = \frac{2^{i+1}}{M} \sum_{m=1}^{M/4} (-1)^{\text{mod} 2 \left( \frac{m-1}{2^{B+1-i}} \right)} T_Z(h_{0c}^2, M, m),$$

де  $T_Z(h_{0c}^2, M, m) =$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{\cos((2m-1)\pi/M)}{\left( 2 \left[ h_{bc}^2 B + 1 + \sqrt{h_{bc}^2 B (h_{bc}^2 B + 1)} \right] \times \right.} \\
&\quad \left. \times \sin \left[ ((2m-1)\pi/M) + \psi_3 \right] \right) + \\
&\quad + \frac{1}{2\pi} \cdot \left( 1 / \left( h_3^2 + 1 + \sqrt{h_3^2 (h_3^2 + 1)} \right) \right) \times \\
&\quad \times \arcsin \left[ \sqrt{\frac{h_{bc}^2 K}{h_{bc}^2 K + 1}} \cdot \cos((2m-1)\pi/M) \right], \\
\psi_m &= \frac{1}{2} \arcsin \sqrt{\frac{h_{bc}^2 B}{h_{bc}^2 B + 1}} \cdot \cos((2m-1)\pi/M).
\end{aligned}$$

Середня ймовірність помилки на біт в В-бітовому блоці визначається як [8, 9]:

$$P_B = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B P_{bi}.$$

Визначимо середню ймовірність помилки в В-бітовому блоці для одного каналу системи МІМО з навмисними завадами, флуктуаційним шумом і селективними завмираннями при модуляції ФМ-4 і ФМ-8. Розглянемо модуляцію ФМ-4. Для першого та другого бітів у послідовності із двох бітів ймовірність помилки на біт рівна

$$\begin{aligned}
P_{b1} = P_{b2} &= \frac{1}{2} \left( 1 / \left( h_{bc}^2 + 1 + \sqrt{h_{bc}^2 (h_{bc}^2 + 1)} \right) \right) = \\
&= \frac{1}{2} \left( 1 / \left( h_0^2 + 1 + \sqrt{h_0^2 (h_0^2 + 1)} \right) \right). \quad (2)
\end{aligned}$$

Середня ймовірність помилки на біт в 2-бітовому блоці модуляції ФМ-4 при селективних завмираннях визначається, підставивши (1) в (2):

$$P_B = \frac{1}{h_0^2 + 1 + \sqrt{h_0^2 (h_0^2 + 1)}} = 1 - \sqrt{\frac{h_0^2}{h_0^2 + 1}}. \quad (3)$$

Вплив навмисних завад на систему радіозв'язку враховується в параметрі  $h_0^2$ . При впливі шумової загороджувальної завади на ЗРЗ параметр  $h_0^2$  перетвориться в

$$h_{013}^2 = \frac{E_6}{G_0 + G_3}, \quad (4)$$

де  $G_3$  – спектральна щільність потужності навмисної завади. Для шумової завади в частині смуги параметр  $h_{023}^2$  буде визначений як

$$h_{023}^2 = \frac{E_6}{G_0 + G_3/\gamma}. \quad (5)$$

У випадку застосування постановником завад завади у відповідь  $h_{033}^2$  буде мати вигляд  $h_{033}^2 = E_6/(G_0 + G_3)$ .

Розглянемо вплив навмисних завад на завадо захищеність системи МІМО з використанням сигналів з

амплітудно-фазовою маніпуляцією сигналів. Нехай для передачі інформації використовуються два сигнали в загальному випадку з різною енергією:  $s_0(t) = \sqrt{E_0} \psi_0(t)$ ,  $s_1(t) = \sqrt{E_1} \psi_1(t)$ , де  $\psi_0(t)$ ,  $\psi_1(t)$  – нормовані функції,  $\|\psi_0(t)\| = \|\psi_1(t)\| = 1$ , з довільним кутом між ними, тобто коефіцієнт неортогональності  $\iota = \cos \phi_{01} = (\psi_0(t), \psi_1(t))$ . Припустимо що сигнал  $s_0(t)$  передається з ймовірністю  $p$ , а сигнал  $s_1(t)$  – з ймовірністю  $(1-p)$ . Без загальних обмежень можна вважати, що  $p \in [0, 1/2]$ . Відстань між двома сигналами може бути визначена по формулі

$$d = \sqrt{E_{01}} = \sqrt{E_0 + E_1 - 2\iota E_0 E_1}.$$

В цій системі сигналів максимальна енергія  $E_m = \max(E_0, E_1)$ ,  $E_c = pE_0 + (1-p)E_1$  – це середня енергія, а квадрат пік-фактору сигналу

$$\Pi^2 = \frac{\max(E_0, E_1)}{p(E_0 - E_1) + E_1}.$$

Нехай  $E_0 \neq 0$  та введемо коефіцієнт пропорційності енергій  $\chi^2 = E_1/E_0$ , тоді  $E_1 = \chi^2 E_0$ .

Відповідно:

$$h_{bm}^2 = \max(1, \chi^2) h_0^2, \quad h_{bc}^2 = (p + (1-p)\chi^2) h_0^2,$$

де  $h_0^2 = E_0/N_0$ . Тоді квадрат пік-фактора

$$\Pi^2(\chi) = \frac{\max(1, \chi^2)}{p + (1-p)\chi^2}.$$

Якщо  $E_0 = 0$ ,  $E_m = E_1$ ,  $E_c = (1-p)E_1$  та відповідно  $h_{bc}^2 = (1-p)h_{bm}^2$  та квадрат пік-фактору

$$\Pi^2 = 1/(1-p) \in [1, 2].$$

Отримаємо ймовірність бітової помилки для сигналів типу АФМ-М. Припустимо, що  $E_0, E_1 \neq 0$ , тоді при зсуві фази сигналів на кут  $\phi$  “відстані” (зазначені величини можуть бути від’ємними) до межі областей прийняття рішення приймача будуть визначатися як

$$d_0 = d/2 - \Delta + b_0; \quad d_1 = d/2 + \Delta - b_1,$$

$$\text{де } b_0 = 2 \sin \frac{\phi}{2} \frac{E_0}{\sqrt{E_{01}}} \left( \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \sin \left( \phi_{01} + \frac{\phi}{2} \right) - \sin \frac{\phi}{2} \right);$$

$$b_1 = 2 \sin \frac{\phi}{2} \frac{E_1}{\sqrt{E_{01}}} \left( \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \sin \left( \phi_{01} + \frac{\phi}{2} \right) + \sin \frac{\phi}{2} \right)$$

Тоді

$$\begin{aligned}
P_6 &= p(1 - \Phi) \left( (d - 2\Delta + 2b_0) / \sqrt{2N_0} \right) + \\
&+ (1-p)(1 - \Phi) \left( (d + 2\Delta - 2b_0) / \sqrt{2N_0} \right),
\end{aligned}$$

де  $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-t^2/2) dt$  – функція Крампа.

Середня ймовірність бітової помилки при використанні модуляції ФМ-М та АФМ-М в системі МІМО в умовах впливу флуктуаційного шуму, навмисних завад та селективних завмирань буде визначатися наступним виразом

$$P_B^L = (P_{1B} + P_{2B} + \dots + P_{LB}) / L,$$

де  $L$  – кількість каналів в системі МІМО,  $P_{LB}$  – середня ймовірність бітової помилки в кожному каналі системи МІМО, яка враховує вплив флуктуаційного шуму, навмисних завад, вид модуляції сигналу, селективні завмирання, аналітичні вирази для розрахунку якої отримані в для відповідних типів завад та модуляції сигналу.

## Висновки

1. В роботі розроблена спотворення сигналів в багатоантенних системах безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення.

Сутність моделі полягає в оцінці завадозахищеності системи МІМО з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти в каналах передачі даних безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення з навмисними завадами та селективними завмираннями.

2. Відмінність розробленої моделі від існуючих, що визначає її новизну, полягає в тому, що запропонована модель базується на нових аналітичних співвідношеннях для розрахунку показника завадозахищеності системи МІМО, які враховують кількість підканалів системи МІМО, різні види навмисних шумових завад, селективні завмирання сигналу та є ефективними для розрахунку при малих відношеннях сигнал/завада в каналі.

Напрямок подальших досліджень є розробка методики вибору раціональних значень параметрів багатоантенних систем безпілотних авіаційних комплексів спеціального призначення в умовах впливу навмисних завад та завмирань сигналу.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСКАЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В МНОГОАНТЕННЫХ СИСТЕМАХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.Н. Петрук, Р.Н. Животовский

В статье предложена математическая модель искажения сигналов в многоантенных системах беспилотных авиационных комплексов специального назначения, которая базируется на новых аналитических соотношениях для оценки воздействия преднамеренных помех и замираний сигнала для беспилотных авиационных комплексов специального назначения.

**Ключевые слова:** многоантенные системы, беспилотные авиационные комплексы, сигнально-кодовая конструкция, скорость передачи информации, вероятность битовой ошибки, радиоэлектронное подавление.

## MATHEMATICAL MODEL OF DISTORTION SIGNALS IN MULTIAN TENNA SYSTEMS OF UNMANNED AVIATION COMPLEX SPECIAL APPOINTMENT

S.N. Petruk, R.M. Zhivotovsky

In the article offered mathematical model of distortion signals in multiantenna systems of unmanned aviation complex special appointment, which is based on new analytical the ratio for impact assessment intentional interference and fading signal for unmanned aviation complex special appointment.

**Keywords:** multiantenna systems, unmanned aviation complex, signal-code construction, speed of information transfer, bit error probability, radio-electronic suppression.

## Список літератури

1. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / [Агафонов А. А., Артюх С. Н., Афанасьев В. И. и др.]; под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.

2. Білецький І. Г. Особливості застосування безпілотної розвідувальної авіації в сучасних воєнних конфліктах / І. Г. Білецький, В. В. Андронов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2010. — № 1. — С. 79-85.

3. Слюсар В. Системи МІМО: принципи побудови та обробка сигналів / В. Слюсар // Електроніка: Наука, Технологія, Бізнес. – 2005. – № 8. – С. 52-58.

4. Кувишинов О.В. Аналіз характеристик систем радіодоступу з технологією МІМО / О.В. Кувишинов, Д.А. Міночкін // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Т. Шевченка. – Вип. № 3 – К.: ВІКНУ, 2006. – С. 51 – 56.

5. Кувишинов О. В. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації. / О. В. Кувишинов, С. П. Лієнцев, О. П. Лежнюк, А. І. Міночкін, Д. І. Могилевич / Підручник – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2008. – 286 с.

6. Животовський Р.М. Методика формування раціональних значень параметрів сигналу для безпілотних авіаційних комплексів в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль / Р.М. Животовський // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3. — С. 9-13.

7. Основи теорії телекомунікацій: підручник / [О.В. Корнейко, О.В. Кувишинов, О.П. Лежнюк та ін.]; за заг. ред. М. Ю. Ільченка. – К.: Політехніка, 2010. – 786 с.

8. Шишацький А. В. Математична модель спотворення сигналу в системах радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням при впливі навмисних завад / А. В. Шишацький, В. В. Лютюв, М. В. Борознюк, І. Ю. Рубцов // Системи обробки інформації. — 2016. — № 3. — С. 181-186.

9. Бураченко Д. Л. Сигнальные конструкции. Приложение. Часть 3. Учебное пособие / Д. Л. Бураченко, Н. В. Савищенко. – СПб.: СПбГУТ, 2005. – С. 3-28.

Надійшла до редколегії 15.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ.

УДК 519.87 (045)

Д.П. Чирва

Институт информационно-диагностических систем НАУ, Киев

## ОБОСНОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЛИНИИ

Рассматривается неоднородная линия со случайным волновым сопротивлением. Определена точность воспроизведения статистического волнового сопротивления неоднородных линий по критерию вероятности не выхода стохастического процесса за пределы заданных границ.

**Ключевые слова:** волновое сопротивление; распределённые магистрали; точность воспроизведения..

### Введение

В настоящее время отрезки неоднородных линий всё шире применяются при построении различных телекоммуникационных устройств СВЧ. Их достоинством является возможность получения заданных характеристик путём изменения волнового сопротивления по координате. При технической реализации неоднородных линий неизбежно возникают технологические погрешности изготовления проводников переменной геометрии и получении заданных значений диэлектрической и магнитной проницаемости. Это приводит к ошибкам в реализации волнового сопротивления и, как следствие, к отличию электрических характеристик реализованной линии от номинальных характеристик. Отсюда следует, что от точности воспроизведения волнового сопротивления зависит процент брака линий передачи. Определение оптимальной точности воспроизведения волнового сопротивления по какому-либо критерию называется технологической оптимизацией, которая для ряда частных случаев решена для однородных линий [1]. Для неоднородных линий решение данной задачи отсутствует.

**Целью статьи** является определение точности воспроизведения статистического волнового сопротивления  $\tilde{W}$  неоднородных линий по критерию вероятности не выхода стохастического процесса за пределы заданных границ. Точность воспроизведения  $\tilde{W}$  будем оценивать среднеквадратической ошибкой реализации волнового сопротивления.

### Основная часть

Известно [2, 3], что вероятность не выхода процесса  $\tilde{W}(y) = A(y)e^{2V}$ , за пределы границ  $c, d$  при равномерном распределении марковского процесса  $V(0)$  в пределах границ  $c, d$  равна

$$q_{c,d}(y) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \exp \left\{ -\frac{(2n+1)^2 \pi^2 y}{2(d-c)^2} \int_0^y b(y) dy \right\}, \quad (1)$$

где  $A(y)$  – функция, описывающая номинальное волновое сопротивление,  $V$  – марковский процесс (рис. 1).

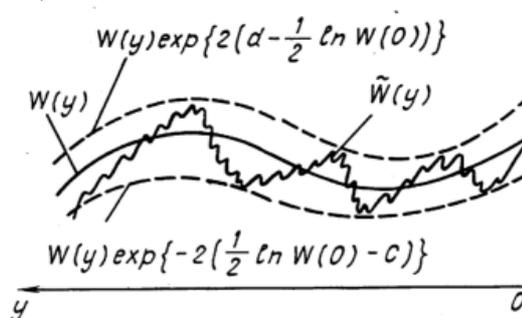


Рис. 1. Волновое сопротивление линии со случайными неоднородностями

При этом

$$A(y)e^{2c} < \tilde{W}(y) < A(y)e^{2d}, \quad d < c. \quad (2)$$

Из (1) следует, что на вероятность нахождения волнового сопротивления в пределах заданных границ (т.е. на процент годных изделий) сильно влияет положение самих границ  $c$  и  $d$ . Из физических соображений ясно, что для передачи сигнала от начала линии к нагрузке затухание сигнала вдоль линии должно быть как можно меньше.

Поэтому положение границ  $c$  и  $d$  будем определять из условия малости модуля коэффициента отражения

$$|\tilde{\gamma}| = \left| \frac{\tilde{Z}_{\text{вх}} - \tilde{W}}{\tilde{Z}_{\text{вх}} + \tilde{W}} \right| \leq \Gamma_0 \ll 1, \quad (3)$$

где  $\Gamma_0$  – наперед заданное число (допуск на рассогласование),  $\tilde{Z}_{\text{вх}}$  – случайное входное сопротивление.

Тогда вероятность  $q_{c,d}$  будет характеризовать процент годных изделий, а вероятность  $1 - q_{c,d}$  – процент брака. Известно, что коэффициент отражения  $\tilde{\gamma}$  удовлетворяет уравнению Риккати [1].

Если в этом уравнении перейти к переменной  $y$ , то оно примет вид

$$\frac{d\tilde{\gamma}}{dy} + 2p\tilde{\gamma} \frac{1}{V_\phi(y)} = -\tilde{N}(y)(1-\tilde{\gamma}^2), \quad (4)$$

где  $V_\phi(y)$  – фазовая скорость,  $\tilde{N}(y) = \frac{\tilde{W}'(y)}{2\tilde{W}(y)}$ .

В полосе пропускания при небольших флуктуациях  $\tilde{W}(y)$  соблюдается условие  $|\tilde{\gamma}|^2 \ll 1$ . Поэтому в этой области уравнение (4) можно упростить:

$$\frac{d\tilde{\gamma}}{dy} + 2p\tilde{\gamma} \frac{1}{V_\phi} = -N(y). \quad (5)$$

Отсюда находим:

$$\tilde{\gamma}(y) = e^{-2p\tau(y)} \left[ \int_0^y -\tilde{N}(y)e^{2p\tau(y)} dy + \gamma(0) \right], \quad (6)$$

$$\tau(y) = \int_0^y V_\phi^{-1} dy,$$

где  $\tau(y)$  - время задержки линии длиной  $y$ .

Учтем, что [2]

$$\tilde{N} = N + \Delta_1,$$

где  $\Delta_1(y) = g(y)\Delta(y)$ , (7)

а  $\Delta(y)$  - нормальный стационарный белый шум с корреляционной функцией

$$K_\Delta(y_1, y_2) = \frac{N_0}{2} \delta(y_2 - y_1) \quad (8)$$

и нулевым математическим ожиданием  $m\{\Delta\} = 0$ ,  $g(y)$  – функция, характеризующая статистические свойства процесса реализации линии,  $g(y) \geq 0$ .

Тогда вводя следующие обозначения:

$$S_1 = \int_0^y N(y) \cos 2\omega\tau(y) dy, \quad S_2 = \int_0^y N(y) \sin 2\omega\tau(y) dy,$$

$$V_1 = \int_0^y \Delta_1(y) \cos 2\omega\tau(y) dy, \quad V_2 = \int_0^y \Delta_1(y) \sin 2\omega\tau(y) dy,$$

$$\gamma(0) = \gamma_1 + j\gamma_2, \quad (9)$$

из (6) получим:

$$|\tilde{\gamma}| = |(S_1 + V_1 - \gamma_1) - j(S_2 + V_2 - \gamma_2)|. \quad (10)$$

В общем случае  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  являются случайными величинами.

Пусть случайное волновое сопротивление  $\tilde{W}(y)$  удовлетворяет неравенству (2),

$$c < V = \int_0^y \Delta_1(y) dy + \frac{1}{2} \ln \tilde{W}(0) < d. \quad (11)$$

Отсюда имеем:

$$c - \frac{1}{2} \ln \tilde{W}(0) < \int_0^y \Delta_1(y) dy < d - \frac{1}{2} \ln \tilde{W}(0). \quad (12)$$

Следовательно,

$$c - d < Z = \int_0^y \Delta_1(y) dy < d - c. \quad (13)$$

Из (9) и (13) находим

$$\frac{dV_1}{dy} = \Delta_1 \cos 2\omega\tau(y), \quad \frac{dZ}{dy} = \Delta_1. \quad (14)$$

Следовательно,

$$dV_1 = \cos 2\omega\tau(y) dZ. \quad (15)$$

Из (15) находим

$$V_1 = \int_{c-d}^{d-c} \cos 2\omega\tau(y) dy \leq \int_{c-d}^{d-c} dZ(y) = 2(d-c). \quad (16)$$

С другой стороны,

$$V_1 \geq \int_{c-d}^{d-c} -dZ(y) = -2(d-c). \quad (17)$$

Таким образом,

$$|V_1| \leq 2(d-c) = 4h, \quad (18)$$

где  $2h = d - c$  - расстояние между двумя границами.

Аналогичное соотношение будет справедливо и для  $V_2$ .

Из формул (10), (18) следует неравенство:

$$|\tilde{\gamma}|^2 \leq (\Phi_1 + 4h)^2 + (\Phi_2 + 4h)^2 = \Gamma_0^2, \quad (19)$$

где  $\Phi_k = |S_k|_{\max} + |\gamma_k|_{\max}$ ,  $k = 1, 2$ , (20)

а  $|S_k|_{\max}$ ,  $|\gamma_k|_{\max}$  – наибольшие значения  $|S_k|$ ,  $|\gamma_k|$  в полосе пропускания.

Из (19) при заданном допуске  $\Gamma_0$ ,  $S_k$ ,  $\gamma_k$  всегда можно найти протяженность области между границами  $c$ ,  $d$  (18):

$$2h = d - c. \quad (21)$$

Определив величину  $d - c$ , из формулы для вероятности  $q_{c,d}$  (1) определяем  $d$  (или  $c$ ), при котором величина  $q_{c,d}$  принимает максимальное значение.

Величины  $S_k$ ,  $k = 1, 2$ , определяются типом неоднородной линии, а величины  $|\gamma_k|_{\max}$  определяются разбросом значений коэффициента отражения нагрузки.

Значение вероятности  $q_{c,d}$  зависит от среднеквадратической ошибки волнового сопротивления  $\sigma_{\tilde{W}}$ , т.е. определяется точностью воспроизведения волнового сопротивления.

Найдем максимальное значение дисперсии  $\sigma_{\tilde{W}}^2$ , при котором вероятность годных изделий  $q_{c,d}$  является заданной величиной.

Пусть  $W(y)$  - номинальное волновое сопротивление.  $\tilde{W}_1(y)$ ,  $\tilde{W}_2(y)$  - статистические процессы, полученные при реализации  $W(y)$  при различных среднеквадратических ошибках. Этим двум процессам соответствуют процессы  $2Z_1(y)$  и  $2Z_2(y)$  с дисперсиями  $\sigma_{2Z_1}^2$ ,  $\sigma_{2Z_2}^2$ , рис.2.

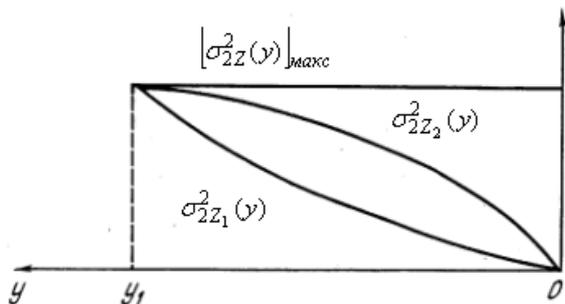


Рис. 2. Пример изменения дисперсии процесса  $2Z(y)$

Предположим, что длина линии равна  $y_1$  и

$$\sigma_{2Z_1}^2(y_1) = \sigma_{2Z_2}^2(y_1). \quad (22)$$

Из полученных результатов следует, что при  $0 < y < y_1$  вероятность выполнения неравенства

$$W(y)e^{-2[\ln W(0)/2 - C]} < \tilde{W}(y) < W(y)e^{2[d - \ln W(0)/2]} \quad (23)$$

для процессов  $\tilde{W}_1(y)$ ,  $\tilde{W}_2(y)$  будет одинаковой. Следовательно, наибольшее значение дисперсии  $\sigma_{2Z}^2$ , при котором вероятность  $q_{c,d}(y_1)$  остается прежней, равно (рис. 2):

$$\left[ \sigma_{2Z}^2(y) \right]_{\max} = \begin{cases} \sigma_{2Z_1}^2(y_1) = \sigma_{2Z_2}^2(y_1), & 0 < y \leq y_1; \\ 0, & y = 0. \end{cases} \quad (24)$$

Наибольшая среднеквадратическая ошибка в реализации волнового сопротивления  $\sigma_{\tilde{W}}(y)$  определяется выражением [3]:

## ОБГРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ВІДТВОРЕННЯ ХВИЛЬОВОГО ОПОРУ НЕОДНОРІДНОЇ ЛІНІЇ

Д.П. Чирва

*Розглядається неоднорідна лінія з випадковим хвильовим опором. Визначено точність відтворення статистичного хвильового опору неоднорідних ліній за критерієм ймовірності невиходу стохастичного процесу за межі заданих меж.*

**Ключові слова:** хвильовий опір; розподілені магістралі; точність відтворення.

## RATIONALE FIDELITY WAVE RESISTANCE INHOMOGENEOUS LINE

D.P. Chyryva

*We consider the inhomogeneous line with a casual wave resistance. Determined fidelity statistical inhomogeneous wave resistance lines on the criterion of likely-sti not yield a stochastic process beyond the defined boundaries.*

**Keywords:** wave resistance; distributed backbone; fidelity.

$$\sigma_{\tilde{W}(y)}^2 = A^2(y) \times \left[ X^2 \left( \sigma_{\tilde{W}(0)}^2 + m^2 \{ \tilde{W}(0) \} \right) - X m^2 \{ \tilde{W}(0) \} \right]; \quad (25)$$

$$x = \exp \left\{ \left[ \sigma_{2Z}^2(y) \right]_{\max} \right\}. \quad (26)$$

Таким образом, задавшись допустимым процентом брака  $1 - q_{c,d}$  из (1) можно найти значение интеграла [2]:

$$\int_0^{y_1} b(y) dy = \frac{1}{4} \sigma_{2Z}^2(y_1) \quad (27)$$

и определить максимально возможное значение среднеквадратической ошибки волнового сопротивления (25), при которой реализуется заданный процент брака.

## Выводы

Рассмотрев неоднородные линии со случайным волновым сопротивлением, была определена точность воспроизведения статистического волнового сопротивления неоднородных линий по критерию вероятности невыхода стохастического процесса за пределы заданных границ. Точность воспроизведения  $\tilde{W}$  будем оценивать среднеквадратической ошибкой реализации волнового сопротивления

## Список литературы

1. Бушминский И.П. *Технология гибридных интегральных схем СВЧ* / И.П. Бушминский, Г.В. Морозов // М.: Радио и связь, 1987. – 285 с.
2. Козловский В.В. *Математическая модель распределённых магистралей передачи информации* / В.В. Козловский, Д.П. Чирва // Системы управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2015. – Вип. 3(35). – С. 163-166.
3. Козловский В.В. *Плотность вероятности волнового сопротивления неоднородной линии со случайными распределёнными неоднородностями* / В.В. Козловский, Д.П. Чирва // Системы управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2015. – Вип. 4(36). – С. 103-105.

Надійшла до редколегії 2.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Артюх Р.В.	104	Калашник М.А.	3	Резанов Б.М.	107
Бердник П.Г.	14	Катасонова О.М.	112	Рибка С.М.	35
Берковський В.В.	68	Кислиця С.Г.	35	Романова Т.Є.	64
Біжко О.В.	88	Кім Н.І.	133	Сакович Л.М.	48
Босько В.В.	107	Кіпоренко Г.С.	133	Семенов С.Г.	107
Бульба С.С.	73	Коваленко О.В.	93	Скороделов В.В.	32
Гавриленко С.Ю.	76	Козлов В.С.	101	Солодовнікова Н.І.	68
Глива В.А.	124	Козлов Ю.В.	101	Стоян Ю.Є.	64
Гриб Р.М.	79	Колумбет В.П.	129	Тімочко О.О.	14
Даниленко О.Ф.	32	Кононов Б.Т.	44	Тріщ Р.М.	133
Данилов Ю.А.	14	Косенко Н.В.	104	Фріз С.П.	24
Денисенко А.М.	133	Куравська Н.М.	44	Фролов В.Ф.	21
Довженко Н.М.	83	Левченко Л.О.	129	Халіль В.В.	124
Дубницький В.Ю.	57	Любарський Б.Г.	44	Ходаковський О.В.	129
Дьяков О.Г.	32	Маренко Г.М.	41	Ходирев О.І.	57
Єрмілова Н.В.	35	Машков О.А.	21	Худова Ю.Ф.	112
Животовський Р.М.	146	Нечаусов С.М.	32	Чирва Д.П.	151
Жук О.Г.	137	Обідін Д.М.	14	Шевердін І.В.	76
Жураковський Б.Ю.	83	Оленченко В.Т.	101	Шевяков Ю.І.	115
Захарченко Р.В.	38	Панкратов О.В.	64	Шипова Т.М.	76
Зінченко А.О.	142	Петрук С.М.	146	Шульга О.В.	9
Іванченко А.О.	41	Подорожняк А.О.	48	Шуляк М.Л.	53
Іванченко О.В.	41	Прибильнов Д.В.	121	Юзова І.Ю.	121
Ільїна І.В.	88	Прібилев Ю.Б.	48		

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 2 (38)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Ільїна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПП від 16.11.2012 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 17,0. Тираж 150 прим. Зам. 720-16

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія КондратюкаВіддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34  
e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)