



Полтавський національний технічний
університет імені Юрія Кондратюка

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Випуск 4(36) – 2015

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:
kozolkovae@mail.ru

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 (канд. 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, с.н.с.)

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 № 14 від 16 грудня 2015 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>Шульга О.В., Нелюба Д.М., Сокіріна В.О.</i> Експериментальні дослідження дискретного електропривода з мікропроцесорним керуванням для систем навігації та управління рухом транспортних засобів	3
--	---

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Василенко Д.Е., Бердник П.Г.</i> Формалізація знань о задачах управління воздушним движением для перспективних систем управління	8
<i>Данилов Ю.А., Обидин Д.Н., Тимочко А.А., Титаренко А.Б.</i> Обработка информации при решении задачи сопровождения траекторий воздушных объектов при управлении воздушным движением	13
<i>Фролов В.Ф.</i> К вопросу о концепции развития мировой и отечественной космонавтики	19

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Волосюк В.К., Тимошук Е.Н.</i> Особенности использования вещественных функций когерентности в широкополосных радиометрических комплексах	22
<i>Калашиник М.А., Обидин Д.Н.</i> Постановка задачи обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета	27
<i>Машков О.А., Аль-Тамімі Рахім Касім Насер, Ламі Діа Джухі Хуссейн., Косенко В.Р.</i> Застосування неформальних підходів до управління складними динамічними системами	31
<i>Печенин В.В., Щербина К.А., Вонсович М.А., Мсаллам Е.П.</i> Структурный синтез комбинированной системы частотно-фазовой автоподстройки частоты, совмещенной с фильтрующей схемой спектра входного сигнала	38
<i>Рудий А.В., Яковлев М.Ю.</i> Моделювання макропрофілю опорної поверхні	44

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Al-Janabi Aqeel Bahr Tarkhan, Shuvalova L.A.</i> Image enhancement techniques for froth flotation	47
<i>Беркман Л.Н., Вишнівський В.В.</i> Розробка інформаційної технології для синтезу високоефективних систем технічного діагностування інформаційних систем	52
<i>Беркман Л.Н., Федюнін С.А., Серих С.О.</i> Операторна модель телекомунікаційної мережі, що комунують та її вплив на розрахунок показників надійності	55
<i>Гришук Р.В., Молодецька К.В.</i> Метод прогнозування динаміки поширення контенту й запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у соціальних інтернет-сервісах	60
<i>Еремін Н.С., Самсонов Ю.В., Сотников А.М.</i> Анализ условий и требований к получению информации о поверхности визирания при формировании базы данных и подготовке эталонных изображений	66
<i>Кононов В.Б., Кушнерук Ю.І., Шевяков Ю.І.</i> Використання інформаційних технологій для оптимізації завдань планування метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки	70
<i>Лада Н.В.</i> Аналіз коректності взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації	73
<i>Мирутенко Л.В.</i> Модель оптимального вибору системи дистанційного навчання	79
<i>Фауре Е.В., Сисоєнко С.В., Миронюк Т.В.</i> Синтез і аналіз псевдовипадкових послідовностей на основі операцій криптографічного перетворення	85
<i>Харченко В.С., Аль-Судани Мустафа Кахтан Абдулмунем, Поночовний Ю.Л.</i> Марковские модели готовности информационно-управляющей системы «умного» дома при раздельном и общем обслуживании по надежности и безопасности	88
<i>Чалай О.В.</i> Метод адаптации многовариантных знание - емких бизнес-процессов на основе анализа их логов	95
<i>Чаузов О.М.</i> Математична модель розподілу інформаційного ресурсу між транзакціями до сховищ даних	100
<i>Козловський В.В., Чирва Д.П.</i> Плотность вероятности волнового сопротивления неоднородной линии со случайными распределёнными неоднородностями	103
<i>Штих І.А.</i> Класифікація систем ідентифікації об'єктів	106
<i>Шульгин С.С.</i> Рекомендации по формированию подхода для эффективного кодирования слотов Р-кадров	109

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Бондарчук С.В.</i> До питання про вплив авіаційного шуму на людину	115
<i>Кравцов О.С., Омельченко А.В., Подорожняк А.О., Шамаєв Ю.П.</i> Модель процесу дифузії домішок в атмосфері з урахуванням інверсій для оцінки якості повітряного басейну	119
<i>Масич О.С.</i> Нейромережеві моделі екологічного моніторингу території	123
<i>Полякова І.О.</i> Оцінка дозових навантажень на персонал, який працює з тритієвими радіоактивними відходами	127
<i>Триш Р.М., Диденко Н.В., Черняк Е.Н.</i> Исследование свойств материала специальной одежды для защиты от радиационных излучений	130

ЗВ'ЯЗОК

<i>Довженко Н.М., Твердохліб М.Г., Чумак Н.С.</i> Підвищення надійності потужної ширококутної лампи рухомої хвилі	134
<i>Жук О.Г.</i> Методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції	137
<i>Мальцев О.С.</i> Комбінований метод підвищення пропускної здатності мережі радіо доступу	140
<i>Панкратова О.С.</i> Оптимізація параметрів SMART-антен для технології WIMAX	143
<i>Семченко Д.О., Замула О.А.</i> Розробка та застосування моделі захищеного каналу передачі даних на основі управління нефункціональними властивостями мережевих пакетів	147

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	152
----------------------------------	-----

НАВІГАЦІЯ

УДК 681.518.2

О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, В.О. Сокіріна

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Системи навігації та управління рухом працюють як у неперервному так і у дискретному (цикловому) режимах. У роботі розглянуті теоретичні положення та проведений аналіз дискретних систем автоматичного керування об'єктами. Визначені математичні вирази для розрахунку уставок часових затримок між кроками крокового двигуна, які необхідні для програмування мікропроцесорного пристрою, що забезпечує необхідну швидкість руху об'єкта за заданою траєкторією. Для побудови систем навігації та управління рухом транспортних засобів, що працюють у дискретному режимі пропонується використовувати уніфіковані мікропроцесорні пристрої керування.

Ключові слова: кроковий двигун, дискрета, ЦАП, АЦП, інтерпретатор, такт, нечутливість, релейний елемент, модель, електропривод, зворотний зв'язок, регулятор, коефіцієнт передачі.

Вступ

В зв'язку з широким використанням систем навігації та управління рухом, що працюють у дискретному режимі, де вимагається контролювати орієнтацію та швидкість об'єктів у просторі та керування їх рухом за заданою траєкторією циклічно за заданим законом, велика увага приділяється аналізу і синтезу дискретних систем. У відповідності з вимогами до систем навігації та управління рухом, вони будуються на основі аналогових та цифрових пристроїв. Об'єктом керування у цих системах являються, в основному, крокові двигуни, які за рахунок конструктивного виконання при більш простих схематичних рішеннях дозволяють отримати високі точності та якісні показники при регулюванні вихідних сигналів у широкому діапазоні [1 – 5].

У роботі розглянуті питання моделювання дискретних САК, розрахунку необхідних параметрів та методика дослідження за допомогою експериментальної установки на мікропроцесорному комплексі.

Мета статті. Розглянути теоретичні положення і принципи побудови дискретних систем керування та дослідити способи керування кроковим двигуном за допомогою мікропроцесорної техніки.

Основні теоретичні відомості

Циклові (або дискретні) системи програмного керування (ЦСПК) забезпечують роботу одного або декількох об'єктів керування, в яких виконавчі органи робочого механізму (ВОРМ) виконують різні рухи з повторними однаковими циклами. Послідовність цих рухів задається керуючою програмою. Керуючі програми у системах ЦСПК виконуються у вигляді жорсткої незмінної та змінної програм.

Жорстка незмінна керуюча програма задається у вигляді визначеної схеми електроавтоматики, вмикання та вимикання керуючих елементів якої виконується у часі або за технічною готовністю ВОРМ. Керування у часі використовується у робочих машинах, призначених для реалізації технологічного процесу по ділянках, який проходить за визначений час. Така керуюча програма забезпечується за допомогою реле часу. Керування з контролем технологічної готовності на кожній ділянці циклу використовується в робочих машинах із переміщенням ВО, або пристроїв зажимів і т.п. (контроль положення), або при досягненні заданого рівня того чи іншого технологічного параметра (контроль розмірів та кількості деталей при затисканні або розтисканні виробів і т.п.). Технологічна готовність контролюється різними датчиками, наприклад положення, тиску, рахунку та ін. Змінні жорсткі керуючі програми в циклових СПК будуються за схемою матриці із завданням програми у вигляді наборів перемикачів, штепсельних комутаторів, командоапаратів із переставними кулачками та за допомогою програмованих контролерів, які являють собою ЕОМ, реалізують логічні функції релейних схем.

Керуючі програми в складних СПК задаються також у цифровому вигляді (ЧПК) та пам'яті ЕОМ. Однак такі програми утримують тільки інформацію про цикл та технологічні режими, а переміщення задається установкою упорів, які впливають на шляхові переключення. У циклових СПК використовуються ЕП постійного, а частіше змінного струму.

Головна особливість систем автоматичного керування дискретними приводами – їх автономна робота без безпосередньої участі людини. Функція оператора складається лише у навчання, запуску і подальшим періодичним наглядом за роботою обладнання.

Особливості систем автоматичного керування. Порівняння різних систем автоматичного керування САК можна провести за наступними характеристиками: тип траєкторії руху ВОРМ; цикл керування; джерела інформації для синтезу закону керування; алгоритм керування; спосіб програмування СК.

Тип траєкторії руху робота. Циклові СК забезпечують лише дискретну траєкторію руху. Кожна її дискретна точка відповідає одній комбінації із загального числа сполучень крайніх ланок ВОРМ. Позиціонування в крайньому положенні реалізується звичайно механічним упором. Головний недолік дискретності траєкторії – неповна доступність точок робочої зони робота. Основний принцип циклового керування ПР, що полягає у здійсненні позиціонування маніпулятора за упорами, визначає ряд характерних особливостей ЦСК:

- програмування логічної і технологічної інформації дискретного виду, що визначає послідовність рухів ланок ВОРМ, тривалість позиціонування і т.д.;
- виділення інформації про переміщення по окремим ступеням рухомості, що задається за допомогою регульованих упорів або датчиків положення;
- порівняння заданого і фактичного положень ланок ВОРМ у природному коді;
- керування по розімкненому циклу.

У загальному випадку склад пристрою циклового програмного керування включає в себе керувально-обчислювальний модуль, програмоносій, блоки спряження з технологічним обладнанням, панель керування і пульт ручного керування навчанням.

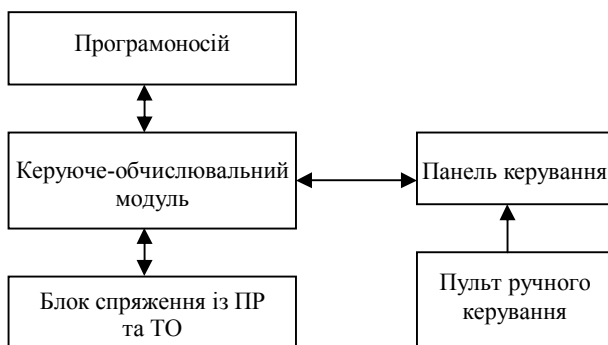


Рис. 1. Загальна структура системи циклового керування

Основою системи є керувально-обчислювальний модуль, функція якого полягає у формуванні мікрооперацій (керуючих імпульсів), відповідних необхідному алгоритму, для видачі їх в операційні вузли та інші функціональні блоки. В електронних пристроях циклового програмного керування як керувально-обчислювальний модуль застосовують мікропрограмні автомати різного типу. Організація керувально-обчислювальних модулів мікропроцесорних систем циклового керування реалізується на базі мікропроцесорних наборів і мікроЕОМ різних кон-

фігурацій. Для запам'ятовування і зберігання інформації про послідовність виконання команд у системах циклового керування як програмно-задавальні модулі можуть бути використані:

- а) електромеханічні інформаційні носії – штекерні і комутаційні поля, програмні барабани, діодні програмовані матриці, роз'єми, перфокарти і т.п.
- б) електронні, побудовані на основі напівпровідникових запам'ятовувальних пристроїв з електричним перезаписом інформації.

Блок спряження з роботом і технологічним обладнанням виконує функції формування команд керування приводами, опитування стану датчиків, що виробляють сигнали підтвердження відпрацювання, обміну інформацією з технологічним обладнанням.

Панель керування призначена для задавання режимів роботи, пуску і зупину програми, індикації ходу відпрацювання програми, стану і правильності функціонування вузлів, сигнали ручного переміщення ланок формуються за допомогою пульта ручного керування.

Програмування керуючої інформації проводиться по кадрам, склад і число яких визначається командами, що видаються на приводи робота і ТО. При автоматичному відтворенні програми інформація про почерговість виконання окремих операцій зчитується по кадрам із програмоносія в керувально-обчислювальний модуль, котрий формує команди керування в блок спряження з роботом і ТО.

Уніфіковані циклові системи (УЦС). Вони призначені для керування об'єктами з проміжним позиціонуванням окремих ланок ВОРМ по висувним упорам і різного роду технологічним обладнанням із складною логікою керування.

- УЦС характеризуються такими особливостями:
- здійснюють керування висувними опорами;
 - реалізуються алгоритми гальмування ланок робота при наблизенні до упора;
 - використовуються збільшена кількість команд;
 - формуються технологічні програми із змінною послідовністю кадрів;
 - застосовується розвинута система аварійних блокувань.

Типовим прикладом систем такого типу є уніфікований пристрій циклового керування УЦМ-663, структурна схема якого зображена на рис. 2.

Склад пристрою і принцип дії. У якості програмоносія в системі використовується "енергонезалежний" оперативний запам'ятовувальний пристрій на інтегральних мікросхемах, що дозволяє зберегти записану інформацію при відключенні джерела живлення. Керуюча інформація формується блоком центрального керування у відповідності до програми, що записана в ОЗП.

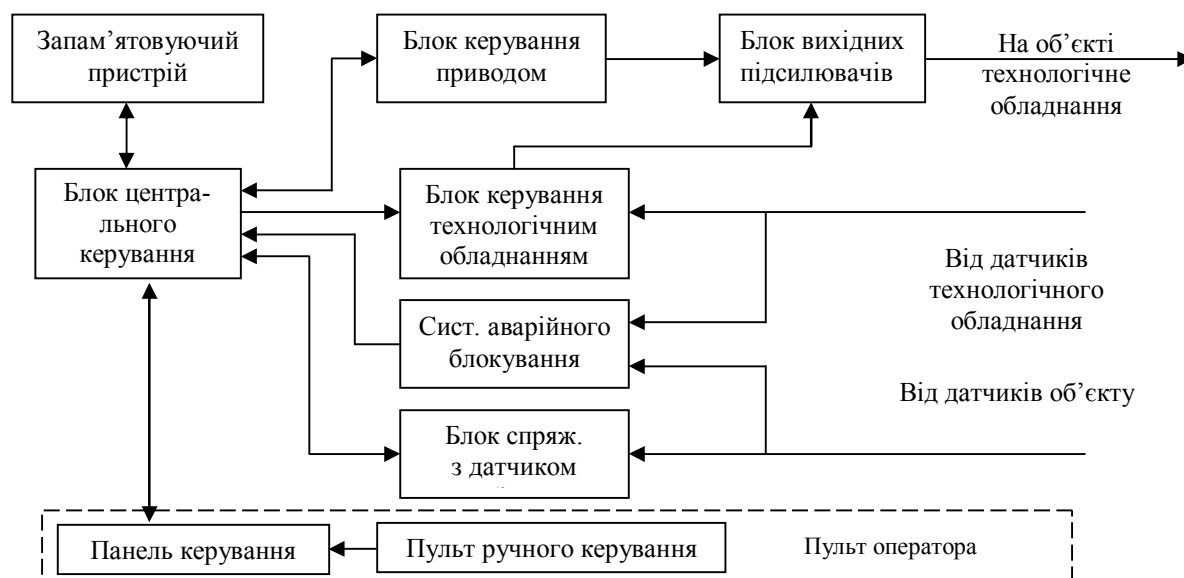


Рис. 2. Структурна схема уніфікованого пристрою циклового керування УЦМ-663

Система видачі команд на об'єкт, що має в своєму складі програмовані діодні матриці, які реалізують різні алгоритми керування, забезпечує спряження пристрою з приводами циклових ВОРМ.

Сигнали керування, що виробляються блоками керування об'єктом і ТО, безпосередньо поступають на відповідні приводи через блок вихідних підсилювачів. Блок спряження з датчиками об'єкта і спеціальна схема в блоці керування ТО формує сигнал відпрацювання кадру.

Для попередження аварійних ситуацій у пристрої передбачена програмована за допомогою спеціальних діодних матриць система аварійного блокування, що видає на блок центрального керування сигнали дозволу команд.

Програмування пристрою здійснюється шляхом покомандного набору програми на пульті оператора. Змінний формат кадру, що включає одну або кілька виконуваних одиничних команд, є однією з характерних особливостей системи. Пристрій УЦМ-663 має досить розвинуту мову програмування (систему команд). Кожна з команд являє собою 8-розрядне слово, що складається із коду операції (старші розряди), не обов'язкової у загальному випадку інформаційної частини (молодші розряди) і контрольного розряду. Команди "Движение" призначені для ручного керування ланками ВОРМ. Устрій пульта оператора дозволяє закодувати код операції, номер керованої координати і напрямку її руху.

Експериментальні дослідження

Порядок проведення експериментальних досліджень. Робочі органи багатьох механізмів при виконанні ними технологічних операцій повинні переміщуватися дискретно, кроками. До таких механізмів відносять пристрої часу, механізми по-

дач різних верстатів і багато іншого. Для привода цих РОВМ доцільно використовувати двигуни, які за своєю конструкцією в змозі забезпечити подібне дискретне переміщення. Ці вимоги задовольняє кроковий двигун, ротор якого виконує дозовані переміщення визначеної величини з фіксацією положення ротора в кінці кожного кроку. Використання крокового електроприводу (ЕП) характерне ще й тим, що він добре узгоджується з різними цифровими ЕОМ (не потрібні ЦАП та АЦП). Тому майже в усіх системах числового програмного керування (ЧПК) 1-го покоління використовувались крокові двигуни. Але системи з кроковими двигунами мають і досить великі недоліки. Один із найбільших – це відсутність зворотного зв'язку (33) за швидкістю й за положенням.

На рис. 3 наведена блок-схема експериментальної САК із кроковим двигуном.

Мікропроцесорний пристрій (МПУ) за введеною в нього програмою і заданим значенням змінних, що використовує програма, подає на комутатор крокового двигуна (ШД) сигнали по лінії керування і тактовій лінії. По лінії керування задається напрямки руху крокового двигуна (рівень логічного „0” відповідає напрямку руху „ВПЕРЕД”, а рівень логічної „1” – „НАЗАД”). По тактовій лінії подаються прямокутні імпульси, які відповідають крокам крокового двигуна (один імпульс відповідає 1-ому імпульсові). Комутатор (ШД), згідно з інформацією від (МПУ), подає імпульси на силові ключі Кл1, Кл2, Кл3, які вмикають відповідні обмотки крокового двигуна.

В даній системі використовується 3 – фазний двигун ШД4М-УЗ, із кутом повороту ротора $\Delta\varphi = 1,5^\circ$. У якості (МПУ) використовується універсальний мікропроцесорний комплект „УМК” на базі мікропроцесора КР580ВМ80А.

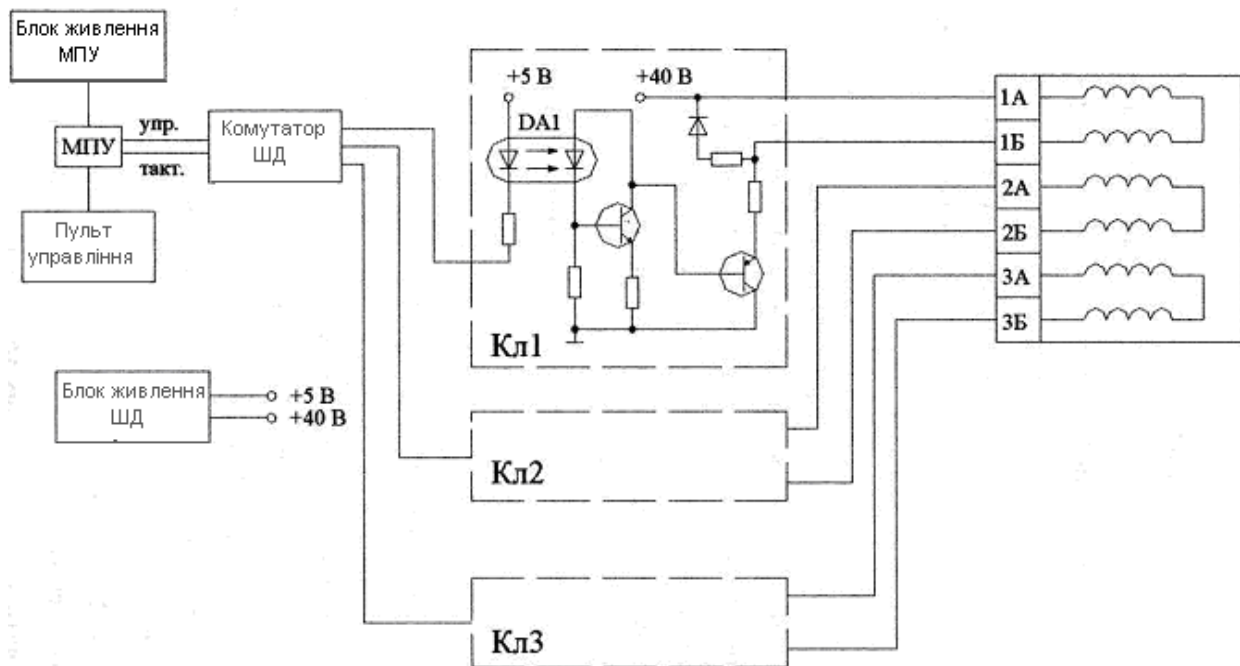


Рис. 3. Блок-схема системи автоматичного керування кроковим двигуном

У даній роботі переміщення крокового двигуна фіксується за допомогою лінійки і стрілки, яка ковзає поздовж вимірювальної шкали за допомогою пасової передачі.

Пас протягнутий між двох шківів, вісь одного з яких через понижуючий редуктор зв'язана з валом крокового двигуна. Таким чином, обертальний рух вала крокового двигуна перетворюється в поступальний рух стрілки. Це перетворення відбувається за формулою

$$L = r_{ш} \cdot n \cdot \Delta\phi \cdot Z_1 / Z_2; \quad (1)$$

де L – переміщення стрілки, м; $r_{ш} = 0,0135$ м – радіус привідного шківа; n – кількість кроків (задається оператором); $\Delta\phi = 1,5^\circ = 0,0261$ рад/крок – кут повороту крокового двигуна при обертанні на 1 крок; $Z_1 = 13$ – кількість зубів ведучої шестерні; $Z_2 = 63$ – кількість зубів веденої шестерні.

Призначення та функції програми керування. За програмою керування має керувати роботою крокового двигуна шляхом виконання команд, оформлених у вигляді програми користувача, яка знаходиться в оперативній пам'яті УМК. Керуюча програма являє собою інтерпретатор і забезпечує виконання 8 основних, 2 допоміжних та 2 налагоджувальних команд, а також обробку й індексацію помилок та аварійних ситуацій, які можуть виникнути в процесі виконання двигуном програми. Основні команди - це всі команди, що забезпечують обертання крокового двигуна, а також команди „ПАУЗА” та „КІНЕЦЬ ПРОГРАМИ”. Допоміжні команди – це команди, які забезпечують роботу циклів (початок і закінчення циклу).

Коди команд і методика складання програми наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Коди команд

КОД	Призначення команди	Байт
00	"Немає операції" – не викликає дію	1
01	"Обертання" – команда, після якої задаються три параметра:	5
	- кількість кроків;	2
	- напрямок;	1
	- швидкість.	1
02	"Обертання" – перед цією командою задаються незалежно всі три параметра.	1
03	Параметр швидкості;	2
04	Кількість кроків;	3
05	Напрямок.	2
06	"Налагоджувальна команда" – обертання, поки не спрацює кінцевий вимикач; після неї задаються параметри: кінцевий вимикач; напрямок; швидкість.	4
07	Пауза, задається від 00 до FF, FF відповідає затримці близько 1 с.	2
08	Початок циклу, з кількістю проходів [01 до FF]	2
09	Кінець циклу	1
0A	"Обнуління" – установка стрілки в початкове положення	1
0B	"Обертання" – налагоджувальна – обертання в режимі АД [параметри не задаються]	1
0C	Кінець програми	1

Порядок виконання досліджень.

1. Вивчити блок-схему САК із кроковим двигуном (рис. 3.), ШДЧН-УЗ.

2. Ознайомитись із програмою і кодами для завдання та виконання заданого технологічного циклу.

3. Ввести програму в УМК із заданими значеннями змінних:

x – кількість кроків (розраховується за формулою (1) залежно від заданої довжини і перевести їх у шістнадцятиричний код;

n – кількість циклів;

t_1 – час паузи.

4. Запустити програму (обробки) відпрацювання заданого технологічного циклу.

Запуск програми для виконання. Після введення керуючої програми і перевірки її можна здійснити її запуск. Це проводиться так: уведіть із клавіатури УМК команду „СТ0400” і натисніть „ВП”, після чого програма піде на виконання. Можливі помилки під час виконання програми і їх індикація.

Як відомо, у кожній програмі можуть виникнути помилки. В даній системі може виникнути два випадки помилок: програмні (не відповідають коди програми) і наїзд на кінцевий вимикач. При виникненні помилки на індикаторі УМК видається адреса комірки, в якій допущена помилка. Для усунення помилки Ви натискаєте „СБ”+, „П”+ адреса комірки, в якій виникла помилка.

Наїзд на кінцевий вимикач може виникнути, коли сумарна кількість кроків більша, ніж максимально можлива, або у випадку, коли відстань пройдена стрілкою вперед і назад до початкового положення різна через неточне відпрацювання двигуном кроків $\Delta\varphi >$ або $< 1,5^\circ$. У цьому випадкові достатньо відвести стрілку від кінцевого вимикача і знову запустити програму.

Висновки

Проведені дослідження синтезованої системи автоматичного управління дискретним електроприводом дозволяють зробити такі висновки:

1. Використання крокових двигунів для дискретних електроприводів дозволяє отримати високу точність відпрацювання заданого закону керування рухом.

2. Конструктивні особливості крокових двигунів дають можливість застосування сучасних цифрових пристроїв для програмування пристроїв керування.

3. Проведені експериментальні дослідження показали, що основними параметрами для керування кроковими двигунами являються крок кутового переміщення ротора $\Delta\varphi$ та час затримки між кроками t .

4. Дискретні системи автоматичного керування можливо використовувати при управлінні рухом всіх видів транспортних засобів.

Список літератури

1. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: ПНТУ, 2002. – 342 с.
2. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами: Навчальний посібник / О.В. Шульга. – Полтава: ПНТУ, 2010. – 298с.
3. Терехов В.М. Дискретные и непрерывные системы управления в электроприводах / В.М. Терехов. – М.: МЭИ, 1989. – 77 с.
4. Применение микропроцессоров в автоматизированном электроприводе / Под ред. Л.А. Ильищенко. – М.: Издательство МЭИ, 1986. – 102 с.
5. Попович М.Г. Теорія електропривода / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.

Надійшла до редколегії 16.10.2015

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСКРЕТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.В. Шульга, Д.Н. Нелюба, В.А. Сокирина

Системы навигации и управления движением работают как в непрерывном так и в дискретном (циклическом) режимах. В работе рассмотрены теоретические положения и проведен анализ дискретных систем автоматического управления объектами. Определены математические выражения для расчета вставок временных задержек между шагами шагового двигателя, которые необходимы для программирования микропроцессорного устройства, обеспечивает необходимую скорость движения объекта по заданной траектории. Для построения систем навигации и управления движением транспортных средств, работающих в дискретном режиме, предлагается использовать унифицированные микропроцессорные устройства управления.

Ключевые слова: шаговый двигатель, дискрета, ЦАП, АЦП, интерпретатор, такт, нечувствительность, релейный элемент, модель, электропривод, обратная связь, регулятор, коэффициент передачи.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DISCRETE ELECTRIC DRIVE WITH MICROPROCESSOR CONTROL FOR NAVIGATION AND CONTROL OF VEHICLES MOVEMENT

O.V. Shulga, D.M. Neliuba, V.O. Sokirina

Navigation systems and traffic control work in both continuous and discrete (cyclic) modes. The paper discusses the theoretical principles and the analysis of discrete systems of automatic control of objects. Mathematical expressions for calculating the time delay between the inserts of stepper motor steps that are necessary for programming microprocessor, provides the necessary speed of the object along a predetermined path. For the construction of navigation and motion control of vehicles operating in the discrete mode is proposed to use standardized microprocessor control unit.

Keywords: stepper motor increment, DAC, ADC, interpreter, beat, numbness, relay element, model, power, feedback control, the transmission coefficient.

КОНТРОЛЬ КОСМИЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

УДК 004.825

Д.Е. Василенко¹, П.Г. Бердник²

¹ Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград

² Харьковский национальный университет имени С.Н. Каразина, Харьков

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Разработка перспективных систем управления воздушным движением требует разработки новых подходов к проектированию и разработке специального математического и программного обеспечения. Одним из перспективных направлений совершенствования специального математического обеспечения является использование методов искусственного интеллекта. Для разработки баз знаний и данных таких систем необходимо провести анализ и выбор метода формализации знаний. В работе обоснован выбор метода формализации знаний с учетом особенностей решения задач управления воздушным движением.

Ключевые слова: управление воздушным движением, искусственный интеллект, формализация задач, АСУ, управление, принятие решений.

Введение

Развитие систем управления различного назначения на сегодняшний день представляет собой, в первую очередь, совершенствование математического и программного обеспечения получения, хранения и обработки информации в процессе управления различными объектами и процессами.

Одним из перспективных направлений развития математического обеспечения является внедрение методов искусственного интеллекта для решения задач управления. При управлении воздушным движением наиболее остро встают вопросы оперативности принятия решений в условиях высокой неопределённости данных и знаний о сложившейся обстановке и направлении ее изменения. Это определяет актуальность разработки экспертных систем оценки складывающейся обстановки и анализа возможных путей ее развития. Разработка данной системы позволит усовершенствовать процессы информационного обеспечения деятельности диспетчеров при управлении воздушным движением. Одной из ключевых задач при разработке экспертных систем является выбор аппарата формализации знаний для разработки свойств и структур баз знаний и данных таких систем.

Анализ литературы. Анализ возможностей использования различных логик в качестве основы построения формальных систем (ФС) для формализации задач рассматриваемого класса позволяет сформулировать их основные недостатки [1 – 5]:

В классической математической логике понятие истины абсолютно. В то же время, истина в требуемом логическом исчислении должна рассматриваться как относительная. Это связано с тем, что развитие

ситуации в воздушной среде делает знание о ней относительным, неточным и неполным. Кроме того, в физической реальности истина может зависеть от множества ситуаций, начальных условий и т.д.

Понятие истины в математической логике является статическим. Это вытекает из основных свойств математической логики. Все материальные объекты в отличие от математических изменяют свои свойства и характеристики. Реальные объекты являются динамическими. Следовательно, в требуемом исчислении истины должны рассматриваться как динамические.

Неконструктивность математической логики. Все истины должны иметь конструктивную семантическую интерпретацию в объективной реальности, т.е. должны существовать практические способы установления их соответствия этой реальности – прагматической истинности (здесь и далее речь идет о телеотической прагматике).

Для математической логики понятие истины имеет смысл по отношению к суждениям объективной реальности. Требуемая логика должна носить множественный характер исходя из необходимости отражения различных аспектов знаний. По отношению к суждениям, выводимым посредством аппарата формализации (АФ). основополагающую роль играет понятие присутствия, возможности, необходимости, реализуемости и других свойств объективных явлений, отражающих соответствующие аспекты знаний.

На практике для предметной области (ПО), вследствие наличия субъективных знаний о ней, характерны неполнота и противоречивость информации. Классические логики не позволяют в должной мере описывать объекты ПО в условиях неполноты и противоречивости знаний о них.

Для решения подобных противоречий возможно применение категорной логики как основы построения АФ [2, 3]. Однако для категорной логики характерна сложность представления объектов различной природы, установление и описание всего множества морфизмов между объектами разных теорий ПО. Это значительно затрудняют возможность использования категорной логики для формализации задач распознавания ситуации в воздушном пространстве и задач управления воздушными объектами для приведения ситуаций в воздушном пространстве к целевому состоянию (при условии выполнения всех приведенных выше требований к АФ экспертной системы).

В ряде работ обосновано использование для описания процессов принятия решений структуры целевых установок, представленной обобщенной сетевой моделью [4 – 10]. Данная структура является разновидностью неоднородной функциональной сети, и обладает широкими описательными возможностями. Однако в ранее используемом виде СЦУ не позволяла устанавливать истинность целевых установок (НУ) по всем аспектам знаний вследствие отсутствия описательных средств прагматического аспекта. Вместе с тем, необходимость установления прагматической истинности для систем рассматриваемого класса обусловлена характером процесса управления в реальном масштабе времени. В ряде работ отмечено, что описание фактов достижения целей может быть корректно произведено посредством системы понятий (признаков) в рамках четырехзначных логик, обладающих высокими описательными способностями в условиях неопределенности и противоречивости информации [8 – 10]. Введение в состав ФС, являющейся основой АФ структуры целевых установок (СЦУ), элементов логики присутствия интерпретированной применительно к логике множеств, позволяет устранить ограниченность описательных возможностей рассматриваемой структуры [7]. В настоящее время показано, что рассмотренные логики в самом общем случае могут быть описаны и представлены методами теории нечетких множеств.

Таким образом, для формализации знаний о задачах рассматриваемого класса целесообразно использовать формально-логический АФ СЦУ, дополненный для описания прагматического аспекта знаний нечеткими множествами.

Целью данной работы является обоснование выбора аппарата формализации знаний о задачах управления воздушным движением для перспективных автоматизированных систем управления воздушным движением.

Основная часть

В общем случае принятие решения в сложных ситуациях характеризуется перечнем проблем $\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, ограничений на возможные дей-

ствия $\bar{O} = (O_1, O_2, \dots, O_m)$ и заключается в формировании множества целей принятия решения $\bar{C} = (C_1, C_2, \dots, C_l)$, возможных вариантов их достижения $\bar{D} = (D_1, D_2, \dots, D_k)$ и выборе наилучшего в некотором смысле набора действий $\bar{D}^* = (D_1^*, D_2^*, \dots, D_s^*)$, обеспечивающих достижение поставленных целей [6 – 10].

Формулировка и постановка цели является одним из основных этапов целевого планирования и управления. В понимаемом смысле цель характеризует:

- предметную область - некоторую проблему, для устранения которой цель необходимо сформулировать и достигнуть;
- множество состояний объектов физической реальности, достижение которых обеспечивает достижение цели;
- множество состояний объектов физической реальности, определяющих направление действий для достижения самой цели.

Существенным моментом является то, что средства достижения цели вытекают из содержания самой цели [2]. Пусть в рамках решаемой задачи множество целей описано семантическими формулами на естественном языке. Из всего указанного множества можно выделить основные, вспомогательные и промежуточные цели [3].

Основные и вспомогательные цели могут быть, в свою очередь, постоянными и оперативными [4]. Оперативные цели являются интерпретацией постоянных целей применительно к конкретным условиям сложившейся обстановки, их формулировки указывают на конкретные объекты внешней среды или системы. Конечные состояния являются существенными для требуемого целевого состояния (ЦС). Каждая постоянная цель может порождать множество оперативных целей, которые должны выполняться совместно.

В общем случае формализованное описание цели может включать некоторое множество формул Φ_a , соединенных между собой логическими связками \wedge, \vee (дизъюнкции и конъюнкции).

Если существует множество формул $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, таких, что:

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow y, \quad (1)$$

$$y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \quad (2)$$

истинны для некоторой цели y , то цель y называется конъюнктивной, в иерархической структуре ей соответствует вершина «И» (рис 1, а).

Если для множества формул $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ истинны выражения

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow M \uparrow y, \quad (3)$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \quad (4)$$

то цель - называется конъюнктивно достижимой (рис. 1, б). Вершине $M \uparrow y$ у соответствуют некоторые действия системы, позволяющие перейти из текущего состояния в состояние истинности y . Для цели y истинность конъюнкции $x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m$ является необходимым и достаточным условием возможности ее достижения.

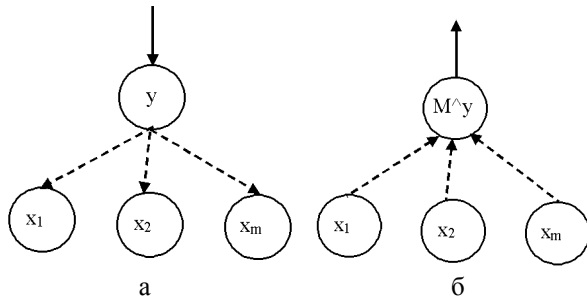


Рис. 1. Обозначение конъюнктивных и конъюнктивно достижимых целей на графе сетевой модели

Дизъюнктивной называется цель y , для которой истинны выражения:

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow y, \tag{5}$$

$$y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \tag{6}$$

в иерархической структуре ей соответствует вершина «ИЛИ» (рис. 2, а). Если истинны формулы:

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow M \uparrow y, \tag{7}$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \tag{8}$$

то цель дизъюнктивно достижима (рис. 2, б).

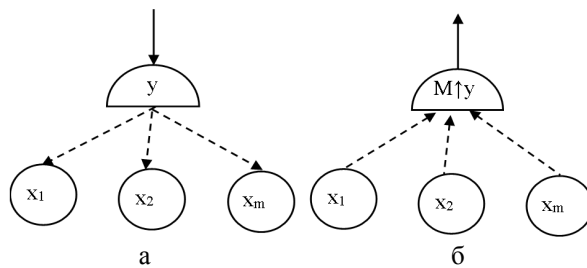


Рис. 2. Обозначение дизъюнктивных и дизъюнктивно достижимых целей на графе сетевой модели

Истинность любой из составляющих дизъюнкций (7) является необходимым и достаточным условием возможности достижения цели y .

Выражения (3, 4, 7, 8) отражают алетический и деонтический аспекты знаний. Причем истинность выражений (3, 7) отражает алетическую истинность T_a или ложность F_a , истинность выражений (4, 8) - деонтическую истинность T_D или ложность F_D .

Процесс достижения цели y из некоторого множества целевых установок $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ определяется типом вершины y и носит иерархический характер. Такой порядок достижения цели y вытекает из того, что цели $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, в свою

очередь, могут достигаться из множества $\left\{ \{z_1^1, z_2^1, \dots, z_0^1\}, \{z_1^2, z_2^2, \dots, z_p^2\}, \{z_1^m, z_2^m, z_r^m\} \right\}$, включающего подмножества $\{z_i^j\}$, ($i = 1, \dots, t, j = 1, \dots, m$) достижения целей $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. Таким образом, возможно выделение некоторой логической последовательности достижения целей всех уровней иерархии. На самом нижнем уровне иерархии будут находиться исходные послылки, определяющие начальный этап достижения целей. Данные послылки не имеют необходимых и достаточных условий достижения, их достижение определяется исходной для решения задач управления ситуацией. Такие исходные послылки называются начальными условиями [6].

Достижение различных целей из некоторого множества начальных условий (НУ) возможно за различное количество шагов, определяющих ранг ЦУ. Под рангом ЦУ (уровнем иерархии цели) будем понимать максимальное для всех возможных путей достижения цели количество шагов (этапов) за которое она может быть достигнута из начального состояния системы [7]. Необходимо отметить, что иерархическая сетевая структура отражает лишь возможность достижения определенного ЦС. Реально достижение этого состояния осуществляется посредством активного воздействия на внешнюю среду системы управления через объекты управления, т.е. сопровождается некоторым действием. Состояния внешней среды при отсутствии воздействия могут не соответствовать состояниям, описываемым СЦУ.

Логическая последовательность достижения ЦУ определяется отношениями между ними. Поскольку ЦУ являются формализацией ЦС и последовательность достижения целей в физической реальности отражает определенный порядок чередования во времени ЦС, то правомочно рассматривать отношения между ЦУ как отношения следования. В свою очередь, эти отношения могут быть разделены на отношения подчинения, предшествования, начальные условия и результирующую вершины [8].

Отношения подчинения целей x и y (xPy) предполагают, что цель x является конъюнктивной или дизъюнктивной составляющей цели y или необходимым условием ее достижения [9].

Отношения предшествования между ЦУ определяют последовательность достижения вышестоящих целей системы из целей нижнего уровня. Отношения слабого предшествования предполагают, что для целей x и y существует момент времени t , когда цель x достигнута, а y - нет. В этом случае x предшествует y и обозначается xTy .

Отношения "начальные условия-результат" (xDu) или отношения действия, характеризуют некоторые действия системы, определяющие ее переход из одного состояния в другое, являющихся необхо-

димыми условиями такого перехода. Отношения действия предполагают наличие некоторых ресурсов системы \bar{R} . Для двух ЦУ x и y , между которыми установлены отношения действия, переход из ЦС x в состояние y предполагает активное воздействие на внешнюю среду, сопровождаемое расходом запаса ресурсов системы. При этом под ресурсами понимаются любые силы и средства оказания воздействия на внешнюю среду. В общем случае возможно наличие сложных действий, предполагающих некоторую композицию простых (элементарных) действий. Например, для изменения характеристик полета воздушного объекта могут использоваться средства связи или радиотехнического обеспечения полетов либо их совместное использование т.д.

Таким образом, в общем случае, для перехода из одного ЦС в другое необходимы затраты некоторого запаса воздействий множества ресурсов $\bar{R}_{s_s} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ определяемых логической комбинацией элементарных действий. При этом каждый из ресурсов может иметь правила использования ресурсов $\bar{N}_i(r_j)$, определяющих условия и порядок их применения, нормативные правила расхода запаса воздействий ресурсов $\bar{P}_{3_k}(r_j)$. Например, для изменения параметров полета может быть потрачено различное количество топлива.

Предполагается, что любое действие, определяющее переход из одной ЦУ в другую, осуществляется во времени, т.е. является динамичным. Причем, действию должно соответствовать некоторое множество НУ или ситуаций, определяющее априорные предпосылки его успешного завершения. То есть, отношения действия D_S между ЦУ x и y предполагают строгую временную последовательность достижения целей, что позволяет рассматривать их как некоторое отношение предшествования, "нагруженное" действием:

$$D_S = \langle \bar{R}_{S_s}, \bar{N}_i, \bar{P}_{3_s}, T_s \rangle, \quad (9)$$

где $\bar{N}_i = \langle \bar{N}_i(r_j) \rangle$ - множество нормативных правил использования ресурсов, $\bar{P}_{3_s} = \langle \bar{P}_{3_s}(r_j) \rangle$ - множество нормативных правил расхода запаса воздействий ресурсов, T_s - интервал времени, определяющий продолжительность действия.

Использование в приведенном виде отношений между ЦУ для описания закономерностей ПО является проблематичным, так как реальные отношения оказываются значительно более сложными. Вместе с тем, выделение набора элементарных отношений $\langle xRy, xTy, xDy \rangle$ позволяет, используя их комбинации, строить более сложные описания, не нарушая

характера отношений следования. Кроме того, характер и наличие отношений между ЦУ могут зависеть от условий $\bar{\Theta}$, определяемых значениями признаков (состояний объектов, запасом ресурсов и т.д.). Рассмотрим сложные конъюнктивные, дизъюнктивные и комбинированные отношения.

Под конъюнктивными сложными отношениями будем понимать такие отношения между ЦУ, которые имеют признаки нескольких элементарных отношений. При этом под элементарными отношениями понимаются составляющие отношений следования (действия, предшествования, подчинения). Конъюнктивные сложные отношения могут быть, в свою очередь, безусловными (10) и условными (11).

$$R1 = R1_1 \wedge R1_2 \wedge \dots \wedge R1_k; \quad (10)$$

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \wedge \dots \wedge (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j), \quad (11)$$

где $R1_i$ - одно из элементарных отношений; ϑ - формула, определяющая условие реализации $R1_i$ -го элементарного отношения; ϑ_i^j - интерпретация формулы ϑ , определяющая условие реализации отношений между i -й и j -й ЦУ.

Под дизъюнктивными сложными отношениями будем понимать такие отношения между ЦУ, которые при различных условиях могут иметь признаки одного из элементарных отношений:

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \vee \dots \vee (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j). \quad (12)$$

Под обобщенными (комбинированными) отношениями будем понимать такие отношения, которые при различных условиях ϑ_i^j могут иметь признаки сложных комбинаций элементарных отношений:

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \nabla \dots \nabla (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j), \quad (13)$$

где ∇ - одна из логических операций.

Дизъюнктивные и обобщенные отношения всегда являются условными. На графе сети условные сложные отношения изображаются с использованием вершин-разветвителей (рис. 3).

Простые отношения являются отношениями строгого частичного порядка, характеризующимися свойствами:

$$x R x \text{ - антирефлексивности; } \quad (14)$$

$$x R y \rightarrow \neg y R x \text{ - антисимметричности; } \quad (15)$$

$$(x R y) \vee (y R z) \rightarrow x R z \text{ - транзитивности. } \quad (16)$$

Сложные отношения также являются отношениями строгого частичного порядка. Действительно, по определению, элементарные отношения являются

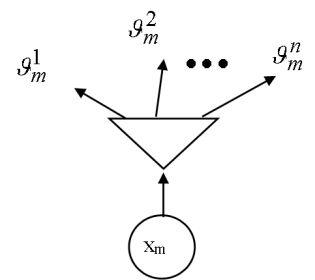


Рис. 3. Обозначение сложных отношений на графе сетевой модели

независимими и взаимно не включают компоненты по которым осуществляется их классификация. Следовательно, любая их комбинация не нарушает строгости и частичного порядка. Введение условий Θ определяет только наличие отношений, их вид, но не изменяет степень их строгости и значение порядка.

Возможность рассмотрения отношений с точки зрения единой методологии, а также их обобщение, позволяет рассматривать отношения между ЦУ как обобщенные отношения следования.

Обобщенные отношения следования с точки зрения различных ЦУ носят двойственный характер. С позиции ЦУ более высокого уровня иерархии, цели низшего уровня является причиной. С позиции ЦУ более низкого уровня иерархии, цели высшего уровня является следствием. Следовательно, для анализа процесса достижения целей с позиций ЦУ различных уровней иерархии возможно выделение в рамках обобщенных отношений следования отношений причины и отношений следствия. Целевая установка x условно или безусловно является причиной ЦУ y , если x подчинена y , предшествует ей, либо y является результатом действия x . При этом y является следствием x . Отношения причины будем обозначать Pg , следствия - Sl .

В представленном виде СЦУ реализует аксиоматический подход к формированию ФТ предметной области [10]. Действительно, правила формирования сети отражают аксиомы алетической и деонтической логики, являющиеся логическими аксиомами базовой ФС для СЦУ. Нелогические аксиомы определяют описание с позиций прагматического, деонтического и алетического аспектов знаний, семантическую интерпретацию сети по отношению к моделируемой СТ ПО. Система проверки корректности знаний отражает эпистемистический, процедуры логического вывода - десизиональный аспект знаний.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ ПРО ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Д.Є. Василенко, П.Г. Бердник

Розробка перспективних систем управління повітряним рухом вимагає розробки нових підходів до проектування і розробки спеціального математичного та програмного забезпечення. Одним з перспективних напрямів удосконалення спеціального математичного забезпечення є використання методів штучного інтелекту. Для розробки баз знань і даних таких систем необхідно провести аналіз і вибір методу формалізації знань. В роботі обґрунтований вибір методу формалізації знань з урахуванням особливостей рішення задач управління повітряним рухом.

Ключові слова: управління повітряним рухом, штучний інтелект, формалізація завдань, АСУ, управління, прийняття рішень.

FORMALIZATION OF KNOWLEDGE THE TASKS OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS FOR ADVANCED AIR TRAFFIC CONTROL

D.E. Vasilenko, P.G. Berdnik

Development of advanced air traffic control systems requires the development of new approaches to the design and development of special mathematical and software. One of the promising ways to improve special software is to use the methods of artificial intelligence. To develop the knowledge base and data of such systems should be analyzed and the choice of method of formalization of knowledge. We justify the choice of the method of formalization of knowledge allowing for the solution of air traffic control problems.

Keywords: air traffic control, artificial intelligence, the formalization of tasks, automation, management, decision-making.

Вывод

Таким образом, рассматриваемый метод должен обеспечивать формализацию знаний с позиций алетического, деонтического и прагматического аспектов знаний, методика контроля корректности знаний - эпистемистического аспекта. Формализация десизиональных знаний о задачах ОУ выходит за рамки настоящего исследования.

Список литературы

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1994. - 30 с.
2. Ивлев Ю.В. Содержательная семантика модальной логики / Ю.В. Ивлев. - М.: МГУ, 1985. - 170 с.
3. Слинин Я.А. Современная модальная логика / Я.А. Слинин. -Л.: ЛГУ, 1976. - 104 с.
4. Соснин П.И. Логика понятий / П.И. Соснин. - Саратов: Саратовский госуд. ун-т, 1986. - 86 с.
5. Модальные и интенциональные логики и их применение к проблемам методологии науки / Под ред. В.А. Смирнова. - М.: Наука, 1984. - 368 с.
6. Чень Ч. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Ч. Чень, Р. Ли. Пер. с англ. - М.: Наука, 1983. - 360 с.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. - М.: Мир, 1976. - 165 с.
8. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прадью. Пер. с франц. - М.: Радио и связь, 1990. - 287 с.
9. Низенко Б.И. Метод формализации знаний, содержащих модальности для экспертных систем реального времени / Б.И. Низенко, М.А. Павленко, П.Г. Бердник // Системи обробки інформації. - Х.: ХВУ, 2004. - Вип. 10(38). - С. 117-125.
10. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. - Х.: ХВУ, 2004. - Вип. 9(37). - С. 124-133.

Надійшла до редколегії 14.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

УДК 681.51 : 623.592

Ю.А. Данилов¹, Д.Н. Обидин², А.А. Тимочко³, А.Б. Титаренко¹¹ *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*² *Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград*³ *Фирма XI, Харьков*

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В статье проводится анализ известных результатов и особенностей обработки информации при решении задачи сопровождения траекторий воздушных объектов, рассматриваются перспективные направления в области обработки радиолокационной информации, связанные с развитием автоматизированных систем управления. Так же производится оценка возможностей по повышению качества обработки радиолокационной информации, что в свою очередь приводит к увеличению возможностей по сопровождению воздушных объектов и увеличению безопасности при управлении воздушным движением.

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

Введение

Для обеспечения безопасности воздушного движения необходима оперативная информация о пространственном положении воздушных объектов (ВО) в каждый момент времени в выделенной для контроля зоне ответственности. Необходимость в такой информации особенно возрастает при интенсивном воздушном движении, которое имеет место в районе современных аэропортов, располагаемых возле мегаполисов, а также вблизи крупных городов. Как правило, функции контролера выполняет авиационный диспетчер, который наблюдает за перемещением ВО по информации, выносимой на экран системы мониторинга воздушной обстановки, формируемой по данным, поступающим от обзорных РЛС, входящих в систему УВД. Известно, что возможности человека по восприятию и обработке информации ограничены, поэтому в управлении ВО диспетчеру помогают автоматические системы, которые отслеживают перемещения летательных аппаратов в пространстве, помогая ему принимать решения по обеспечению безопасности воздушного движения в зоне ответственности. Реализация алгоритмов автоматического сопровождения, как правило, строится на основе алгоритмов фильтрации, которые требуют априорных знаний о предполагаемых моделях движений ВО и реальных условиях наблюдения, в которых проводятся измерения траекторных параметров наблюдаемых объектов. Поскольку данные сведения должны закладываться в алгоритмы фильтрации заранее, то существует вероятность того, что реальные параметры, описывающие траекторию перемещения ВО и точностные характери-

стики каналов измерений, будут отличаться от априорных. Таким образом, при реальном функционировании алгоритмов траекторного сопровождения ВО, будет существовать неопределенность в отношении параметров моделей движения наблюдаемых объектов и точностных характеристик измеряемых траекторных параметров, что подтверждает актуальность проводимых в работе исследований.

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 соразмерна 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. Кроме того, подобная ситуация может возникать при выполнении несколькими воздушными объектами согласованного маневра.

Анализ литературы. К основным работам, посвященным повышению качества радиолокационной информации, за счет разработки новых способов и алгоритмов сопровождения траекторий воздушных объектов (ВО), можно отнести следующие [1-10].

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 работа направлена на обоснование необходимости разработки алгоритмов вторичной обработки РЛИ в условиях плотных потоков ВО и применения ими маневра.

Целью данной статьи является обобщение информации о различных методиках синтеза алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий воздушных объектов и выводы о необходимости разработки алгоритмов вторичной обработки РЛИ.

Основная часть

1. Обоснование необходимости разработки алгоритмов вторичной обработки РЛИ в условиях плотных потоков ВО и применения ими маневра. Сложная воздушная обстановка при интенсивном воздушном движении, которое имеет место в районе современных аэропортов, располагаемых возле мегаполисов, а также вблизи крупных городов требует автоматизации решения задач, связанных, прежде всего, со сбором и обработкой информации о воздушной обстановке. При этом требуемая точность и достоверность информации о ВО должна быть достаточной для надежного и своевременного принятия решения. В этих условиях человек - оператор (в силу ограниченных психофизиологических возможностей), не способен обеспечить требуемую точность и достоверность при обработке РЛИ. Например, оператор способен качественно сопровождать автоматизировано 5-6 траекторий ВО даже в простых условиях воздушной обстановки [1 – 7], хотя и способен определить по характеру отметки количество ВО в случае наложения их траекторий.

Анализ уровня автоматизации процесса обработки радиолокационной информации (РЛИ) в средствах автоматизации различных поколений [10] свидетельствует о повышении качества выдаваемой потребителям информации. При сопровождении траекторий ВО используется многоцелевой подход к отождествлению отметок, однако алгоритмы сопровождения реализованы в предположении полной разрешаемости ВО. В условиях плотных потоков ВО, когда возможно периодическое их неразрешение, эти алгоритмы не обеспечивают устойчивого сопровождения, что может привести к катастрофам. Кроме того, такая ситуация может возникнуть при выполнении несколькими ВО согласованного маневра с многократным пересечением траекторий.

Применение в существующих средствах автоматизации вычислительных комплексов ограниченной

производительности не позволяет использовать в алгоритмах обработки моделей движения, учитывающих возможный маневр цели. Это приводит к тому, что при сильных маневрах резко возрастают динамические ошибки на участках перехода к маневру и выхода из него из-за неизбежной инерционности фильтров сглаживания, построенных в соответствии с принятой моделью движения. Для сильно маневрирующих целей динамические ошибки возрастают настолько, что могут привести к срыву автосопровождения. Учитывая возрастающие маневренные возможности современных средств воздушного нападения возможны частые срывы автосопровождения, что также может привести к значительному снижению качества радиолокационной информации.

Таким образом, основываясь на результатах анализа перспектив развития авиационной техники, анализа уровня автоматизации процесса сбора и обработки информации о воздушной обстановке, можно сделать вывод о необходимости разработки алгоритмов вторичной обработки РЛИ в условиях плотных потоков ВО и применения ими маневра.

2. Особенности решения задачи сопровождения траекторий воздушных объектов в условиях их плотных потоков. Как элемент радиолокационной системы, система обработки РЛИ непосредственно связана с источниками РЛИ и должна обеспечивать [6]:

- отсеивание помех и выделение полезных сигналов, несущих информацию о ВО;
- определение параметров отраженных сигналов;
- увязывание отраженных сигналов в траектории и определение параметров этих траекторий;
- селекцию траекторий ВО по их важности;
- формирование обобщенной воздушной обстановки.

Сложность системы обработки РЛИ и многообразие выполняемых системой функций, связанных с поэтапной переработкой больших потоков информации, затрудняет формализацию и анализ ее работы в целом [5]. Поэтому целесообразно разбиение процесса обработки РЛИ на функционально законченные операции (этапы).

Процесс обработки РЛИ условно можно разбить на три этапа [8]:

1. Первичная обработка РЛИ: обнаружение отраженных от ВО сигналов; формирование радиолокационных отметок; определение (оценка) координат радиолокационных отметок.

2. Вторичная обработка РЛИ: обнаружение траекторий ВО по совокупности радиолокационных отметок, полученных в ряде последовательных периодов (циклов) обзора РЛС; вычисление начальных значений параметров траекторий ВО; сопровождение траекторий ВО путем отбора новых отметок для продолжения траекторий.

3. Третичная обработка РЛИ: объединение информации нескольких источников РЛИ, имеющих общую систему вторичной обработки.

Таким образом, задача сопровождения траекторий ВО является составной частью этапа вторичной обработки РЛИ.

В этом случае модель процесса обработки РЛИ можно представить как на рис. 1.

Модель радиолокационной обстановки, модель пространственно - временного сигнала и шума и модель первичной обстановки представляют собой этап первичной обработки.

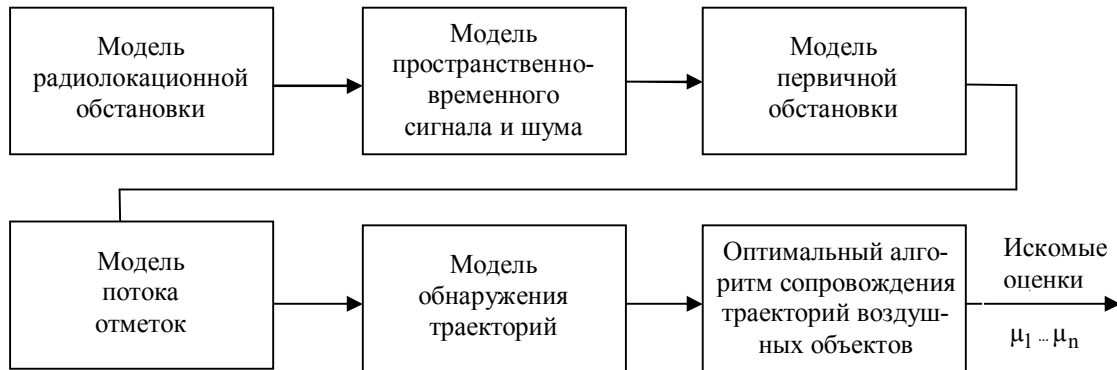


Рис. 1. Модель процесса обработки РЛИ

Модель радиолокационной обстановки задается в виде случайного потока ВО, параметры движения которых $\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n$ являются случайными векторными величинами. Используя понятия теории случайных потоков [7], можно ввести для описания потока ВО многомерную плотность распределения вероятностей (ПРВ) потока ВО $p_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$. Также необходимо задаться моделью изменения параметров μ каждого ВО во времени. Использование моделей в классе марковских процессов сводится к заданию переходной плотности распределения параметров потока ВО $\psi(\vec{m}(t_2) / \vec{m}(t_1))$ [4].

Статистическая модель пространственно - временного радиолокационного сигнала на входе системы обработки информации может быть представлена суперпозицией многих сигналов в единой смеси с шумом

$$y(t) = \sum_{i=1}^n s(t, \vec{m}_i) + n(t),$$

характеризуемой условными многомерными ПРВ $\omega(\vec{y} / n; \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$ и $\psi(\vec{y} / n=0)$ [5].

Здесь $\psi(\vec{y} / n; \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$ - условная многомерная ПРВ суперпозиции сигналов и шума при условии, что она порождена n целями с координатными параметрами $\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n$; $\psi(\vec{y} / n=0)$ - многомерная ПРВ шума.

Модель потока отметок вводится путем задания условных многомерных ПРВ:

$$\omega(1; \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t / n; \vec{m}_1^1, \dots, \vec{m}_n^1) \text{ и } -$$

многомерная ПРВ получения случайного числа отметок ВО с параметрами $\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t$ при условии

наличия в зоне ответственности источника РЛИ n воздушных объектов с параметрами $\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n$;

$$\omega(1; \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t / n=0) -$$

многомерная ПРВ случайного числа отметок с параметрами $\vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t$, при условии отсутствия ВО. Удобно в дальнейшем использовать многоцелевое отношение правдоподобия

$$\frac{L_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n / 1; \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t) = \psi(1; \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t / n; \vec{m}_1^1, \dots, \vec{m}_n^1)}{\psi(1; \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_t / n=0)} \quad (1)$$

При использовании критерия минимума условного среднего риска синтез оптимального алгоритма сопровождения траекторий ВО сводится к формированию АПРВ потока ВО [8]

$$p_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n) / y_y = \frac{p_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n) L_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n / y_y)}{\sum_{n=0}^{\infty} \int \dots \int p_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n) L_n(\vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n / y_y) d\vec{m}_1 \dots d\vec{m}_n} \quad (2)$$

Приведенное соотношение является основой для синтеза оптимальных алгоритмов обнаружений и сопровождения траекторий ВО [2].

Исходя из этого, постановку задачи можно сформулировать следующим образом.

Рассматривается источник РЛИ обзорного типа, позволяющий получать данные о воздушных объектах в некоторой области пространства, называемой далее зоной ответственности источника РЛИ. По результатам $(\beta-1)$ тактов обновления информации сформирована АПРВ потока ВО $p_{\beta-1}(n; \vec{m}_1, \dots, \vec{m}_n)$

оценены параметры их траекторий $\vec{m}_1^{\beta-1}, \dots, \vec{m}_n^{\beta-1}$, где β - номер такта обновления информации источ-

ника РЛИ (обзора РЛС), n - количество воздушных объектов в зоне ответственности зоны источника РЛИ.

В очередном B - ом такте обновления информации от источника РЛИ получено i отметок с параметрами $\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_t$. Требуется уточнить параметры траекторий сопровождаемых ВО в условиях их плотных потоков и возможного маневра.

Плотным потоком ВО будем называть поток при котором разность значений параметров сигналов, отраженных от ВО, соизмерима с мерой разрешающей способности РЛС.

3. Анализ известных результатов полученных при решении задачи сопровождения траекторий воздушных объектов. Задача сопровождения траекторий воздушных объектов является по своей сути статистической задачей обработки совокупностей сигналов и различного рода шумов. Сложилось два направления решения этой задачи: одноцелевое и многоцелевое. При одноцелевой обработке РЛИ (на этапе вторичной обработки) рассматривается отдельно каждая отметка i , с использованием определенных решающих правил, принимается решение о привязке ее к одной из всей совокупности траекторий. Как правило, в качестве истинного принимается измеренное значение (отметка), ближайшее к прогнозируемому. При многоцелевой обработке рассмотрению подлежат одновременно все отметки в зоне ответственности источника РЛИ (или их некоторая совокупность) и все сопровождаемые траектории (или их некоторая совокупность).

Развитию одноцелевого подхода при обнаружении и сопровождении траекторий ВО посвящено много работ [3, 4], в которых получены практические результаты (алгоритмы) реализованные в существующих системах вторичной обстановки РЛИ

Главным достоинством одноцелевого подхода является то, что при его использовании алгоритмы обнаружения и сопровождения траекторий ВО обладают простотой и реализуемы на вычислительных средствах ограниченной производительности. В настоящее время можно считать одноцелевое направление в основном сложившимся и приобретшим каноническую форму [1]

Задача сопровождения траекторий ВО в многоцелевой обстановке характерна для обзорных радиолокационных систем, работающих:

при высоком уровне помех;

в случае нескольких ВО, когда расстояния между ними имеют тот же порядок, что и дисперсия их расчетных положений (групповые ВО);

в условиях недостаточной разрешающей способности;

в условиях пересекающихся траекторий и т.д.

В работе [5] было впервые отмечено, что в процессе сопровождения ВО может возникать неопреде-

ленность, отличная по своей природе от неточности измерений, моделируемой аддитивным шумом. Оказалось, что применение в многоцелевой обстановке стандартных оценочных методов, позволяющих выделить из совокупности измерений значение, ближайшее к прогнозируемому, может быть неэффективным. Это происходит потому, что данные методы адекватно не учитывают ситуацию, при которой некоторые результаты измерений относятся к другим ВО. В [8] сделана попытка согласовать результаты измерений, полученных от неопределенных ВО, с данными, описывающими уже выделенные траектории. Аналогичный подход был развит в [9]. Суть метода состоит в том, что траектория расщепляется на несколько, если в окрестности прогнозируемого значения получен ряд измерений. Дальнейшее развитие этот метод получил в работах [1, 2].

Общая постановка задачи многоцелевой обработки РЛИ (для условия плотных потоков ВО и, следовательно, решения задачи выделения многих сигналов на фоне шумов) была сформулирована в [2] и развита в [3]. Особенностью решения многоцелевой задачи является то, что требуется оценивать параметры зачастую неизвестного числа ВО. При этом требуется принципиально новый критерий оптимальности - многоцелевой и модели множества наблюдаемых объектов и совокупностей сигналов и шумов

В работе [4] для описания множества радиолокационных сигналов предлагается использовать аппарат теории случайных потоков (потоки Пуассона, Бернулли, их разновидности). Описание потоков и формирование их апостериорных характеристик (с применением байесовского подхода) производится на уровне производящих функционалов.

Основной недостаток такого подхода заключается в отсутствии строгих соотношений между априорной и апостериорной интенсивностью потока ВО, что затрудняет синтез алгоритмов многоцелевого обнаружения и сопровождения.

Дальнейшее развитие аппарат теории случайных потоков, в приложении к вторичной обработке РЛИ, получил в [5], где было предложено ввести модели потока ВО и отметок на выходе системы вторичной обработки в предположении, что этап первичной обработки РЛИ уже закончен. Для использования байесовского подхода при формировании апостериорных характеристик потока ВО были получены ПРВ потоков ВО. При этом потоки истинных и ложных отметок считаются статистически независимыми.

В работах [6] предлагается, при наличии нескольких отраженных сигналов близко к прогнозируемому использовать условное среднее значение, которое дает оптимальную состояния ВО.

В работах [7, 8] рассматриваются методы сопровождения траекторий ВО, входящих в группу.

Слежение осуществляется за центром масс группы ВО. Сложность таких методов заключается в выборе формы и размеров области корреляции для траектории центра масс и проблемой перехода на индивидуальное слежение, когда групповой ВО расходится.

Вопросы синтеза и анализа алгоритмов вторичной обработки с использованием многоцелевого подхода разрабатывались и в ряде других работ [9, 10]. Особо следует отметить работу [10], в которой был разработан математический аппарат и с его использованием получены алгоритмы, позволяющие эффективно обнаруживать и сопровождать траектории ВО в условиях их высокой плотности и маневра. Классификация этих алгоритмов, с учетом [4, 5], приводится в табл. 1 и 2. В целом необходимо отметить, что рассмотренные методы и алгоритмы обнаружения и сопровождения траекторий ВО в многоцелевой обстановке значительно превосходят аналогичные методы и алгоритмы, не учитывающее многоцелевой аспект. Следовательно, разработка эффективных методов и алгоритмов обнаружения и сопровождения траекторий с использованием многоцелевого подхода является одной из актуальных задач современной радиолокации.

Все рассмотренные ранее результаты были получены для условия полной разрешенности измерений (отметок), вызванных ВО.

Однако, для введенного определения плотного потока ВО, учитывая ряд случайных факторов, влияющих на принятие решения на этапе первичной обработки РЛИ, вполне возможны ситуации, когда ВО, сопровождаемые раздельно, периодически неразрешены (т.е. отметки порожденные несколькими ВО сливаются в одну). Кроме того, такая ситуация может возникать при выполнении несколькими ВО согласованного маневра с пересечением траекторий.

В работах [8] была сделана попытка учесть возможное неразрешение объектов (в гидролокации). Однако эффективность разработанного алгоритма зависит от задания большого количества априорных сведений и алгоритм предусматривает наличие только двух движущихся объектов с пересекающимися траекториями.

Таким образом, несмотря на целый ряд работ, посвященных развитию многоцелевого подхода к обработке РЛИ, вопрос сопровождения траекторий ВО в условиях их плотных потоков и возможного маневра остается недостаточно изученным.

Таблица 1

Классификация алгоритмов обнаружения траекторий воздушных объектов

Способ обнаружения ВО	Неадаптивные к маневру ВО алгоритмы	Адаптивные к маневру ВО алгоритмы
Одноцелевой	Алгоритм обнаружения траекторий с поточечным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм обнаружения траекторий с поточечным отождествлением радиолокационных данных
Многоцелевой	Алгоритм обнаружения траекторий с совместным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм обнаружения траекторий с совместным отождествлением радиолокационных данных
	Алгоритм обнаружения траекторий с совместным вероятностным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм обнаружения траекторий с совместным вероятностным отождествлением радиолокационных данных

Таблица 2

Классификация алгоритмов сопровождения траекторий воздушных объектов

Способ сопровождения ВО	Неадаптивные к маневру ВО алгоритмы	Адаптивные к маневру ВО алгоритмы
Одноцелевой	Алгоритм сопровождения траекторий с поточечным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм сопровождения траекторий с поточечным отождествлением радиолокационных данных
	Алгоритм сопровождения траекторий с вероятностным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм сопровождения траекторий с вероятностным отождествлением радиолокационных данных
Многоцелевой	Алгоритм сопровождения траекторий с совместным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм сопровождения траекторий с совместным отождествлением радиолокационных данных
	Алгоритм сопровождения траекторий с совместным вероятностным отождествлением радиолокационных данных	Адаптивный алгоритм сопровождения траекторий с совместным вероятностным отождествлением радиолокационных данных

Заключення

Результати аналізу перспектив розвитку авіаційної техніки, можливостей по виявленню і супроводженню ВО в умовах їх щільних потоків і можливого маневру свідчать про необхідність проведення досліджень в цьому напрямку і розробки ефективних в якості алгоритмів вторичної обробки, в частині алгоритмів супроводження траєкторій ВО. В наявних засобах автоматизації використовується багатометодовий підхід до розв'язання задачі супроводження траєкторії ВО, однак можливе нерозв'язання ВО не враховується.

Аналіз відомих результатів, отриманих при розв'язанні задачі супроводження траєкторій ВО, свідчить про:

перспективним при розв'язанні задачі супроводження траєкторій ВО є напрямлення багатометодової обробки;

задача супроводження траєкторії ВО в багатометодовій обстановці характерна для обзорних РЛС, що працюють при високому рівні шумів, в разі недостатньої розв'язувальної спроможності РЛС, в умовах перетинання траєкторій і т.д.;

недостатньо вивченим залишається питання супроводження траєкторій ВО в умовах їх щільних потоків і можливого маневру;

відомих методики і алгоритми супроводження траєкторії ВО передбачають повну розв'язаність ВО, що в умовах щільних потоків може не виконуватися.

Список літератури

1. Голиця М.А. Методика синтезу алгоритмів виявлення і супроводження траєкторій повітряних

об'єктів / М.А. Голиця, С.А. Войтович // Збірник наукових праць ХВУ. Вип. 21. – Х.: ХВУ, 1998. – С. 82-86.

2. Голиця М.А. Алгоритм супроводження траєкторії повітряних об'єктів з урахуванням можливості їх нерозв'язання. / М.А. Голиця, С.А. Войтович // Збірник наукових праць ХВУ. Вип. 22. – Х.: ХВУ, 1998. – С. 40-46.

3. Кузьмін С.З. Основи проектування системи цифрової обробки радіолокаційної інформації / С.З. Кузьмін. – М.: Радио і зв'язь, 1986. – 432 с.

4. Определение параметров движения объектов в статистически неопределенных ситуациях / [Гриценко Н.С., Логинов В.П., Мальцев В.И. и др.] // Зарубежная радиоэлектроника. – 1998. – № 2. – С. 3-29.

5. 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.

6. 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.

7. Леман Э. Теория точечного оценивания / Э. Леман; пер с англ. под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Наука, 1991. – 448 с.

8. Леви П. Конкретные проблемы функционального анализа / П. Леви; пер с франц. под ред. Е.Е. Шилова. – М.: Наука, 1967. – 346 с.

9. Люстерник Л.А. Элементы функционального анализа / Л.А. Люстерник, В.И. Соболев. – М.: Наука, 1965.

12. 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. – Рига: АВТ, 2014. – No. 5, (Vol. 49). – С. 16-25.

Надійшла до редколегії 30.10.2015

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

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАННЯ СУПРОВОДУ ТРАЄКТОРІЇ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ УПРАВЛІННІ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Ю.О. Данилов, Д.М. Обідін, О.О. Тимочко, О.Б. Титаренко

У статті проводиться аналіз відомих результатів і особливостей обробки інформації при вирішенні завдання супроводу траєкторій повітряних об'єктів, розглядаються перспективні напрямки в області обробки радіолокаційної інформації пов'язані з розвитком автоматизованих систем управління. Так само проводиться оцінка можливостей щодо підвищення якості обробки радіолокаційної інформації, що в свою чергу призводить до збільшення можливостей по супроводу повітряних об'єктів і збільшення безпеки при управлінні повітряним рухом.

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

INFORMATION PROCESSING IN SOLVING THE PROBLEM OF AIR SUPPORT PATHS OF OBJECTS IN AIR TRAFFIC CONTROL

Y.A. Danilov, D.N. Obidin, A.A. Timochko, A.B. Titarenko

The article analyzes the results and the known characteristics of information processing in solving the problem of air support trajectories of objects are considered promising directions in the field of processing radar information associated with the development of automated control systems. Also evaluates possibilities to improve the quality of processing radar information, which in turn increases the possibilities for maintenance and increase aircraft safety facilities with air traffic control.

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

УДК 502/504(15)

В.Ф. Фролов

ВОО «Аэрокосмическое общество Украины», Киев

К ВОПРОСУ О КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМОНАВТИКИ

Рассматривается концепция развития космонавтики с учетом состояния среды околоземного космического пространства, в которой происходят космические исследования. Рассмотрены тенденции развития современных космических технологий, которые обеспечат экологическую безопасность Космоса.

Ключевые слова: космический мусор, экологическая катастрофа, космический аппарат, критерий, концепция, технологии, экологическая безопасность.

Введение

Анализ идей мировых философов, в основе которых лежит философия сосуществования человека и природы, стали следствием самой философии развития современной индустриальной цивилизации – цивилизации потребительского похода как к продуктам производства, так и к среде существования человека. Опираясь фактами и понятиями природоведческих наук, экономики, социологии, истории, информационной теории, психологии, философии и религии, можно сделать вывод, что современная индустриализация, в своём нынешнем виде, жёстко противостоит экологической системе нашей планеты Земля.

Превратив многие регионы Земли в свалку, а океаны, моря, реки и озера в помойную яму, куда огромными количествами сливаются отходы производства, выбрасываются отходы жизнедеятельности – человечество добралось и до Космоса. За почти 60-ти летнюю эксплуатацию околоземного космического пространства (ОКП), человечество превратило ОКП в «космический мусоросборник». Общая масса этого мусора уже сегодня перевалила за 5000 тонн, а количество обломков ракет-носителей, топливных баков, космических аппаратов, элементов крепления и узлов, сбрасываемых при разделении ступеней ракет, размером более 10 см, составляет более 300000. Обломков размером от 10 см до 1 мм, на орбитах уже триллионы. Скорости, с которыми эти обломки вращаются – 12-20 км/сек [2]. Можно только представить, какой кинетической энергией эти обломки обладают. Один обломок, размером 1 см и состоящий из алюминия, способен поразить цель (летающий на орбите спутник) с силой, равной взрыву ручной гранаты. Что можно сказать об обломках, в виде ступеней ракет весом десятки тонн? Ответ очевиден. Встреча такого «обломка» с МКС приведет к катастрофе [4].

Целью настоящей статьи является анализ состояния космического пространства и выработка предложений по концепции развития космонавтики.

Основная часть

Человечество и, в первую очередь страны – члены космического клуба, создали Международный комитет по космическому мусору при ООН, который ежегодно проводит сессию под эгидой Международной академии астронавтики. В состав комитета входит 12 стран (Украина в том числе). Организационно комитет состоит из руководящей группы и четырёх специализированных рабочих групп. За более чем двадцатилетнее существование этого органа разработана масса международных требований, рекомендаций, предложений, но как говорится «мыслим глобально, действуем локально». Ежегодный прирост количества мусора на орбитах – около 150 тонн [1]! По оценкам авторитетных учёных, дальнейшая эксплуатация ОКП такими темпами в течении 10 -15 лет, приведёт к невозможности выполнять космические полёты и обеспечить безопасное нахождение космических аппаратов на орбитах. Это грозит глобальной экологической катастрофой ОКП, а самое главное – отсутствием наличия средств связи, телевидения, навигации, метео и средств предупреждения об опасном сближении с астероидами. Если говорить просто и понятно, мы станем слепыми и глухими.

Человечество предпринимает попытки каким-то образом взять под контроль этот процесс. В России и США ведутся каталоги по космическому мусору, имеются бортовые и наземные (радиолокационные и оптико-электронные) системы слежения и предупреждения опасного столкновения с космическим мусором. Данные каталога используются при определении времени и даты запуска ракет-носителей, дабы не попасть в «рои», летающие на всех практически орбитах [2]. Каждые 11 лет, (период солнечной активности), часть мусора спускается в плотные слои атмосферы и сгорает. Но это очень ничтожная часть, по сравнению с тем количеством, которое уже накопилось.

Защищают космические аппараты от столкновений и от соударений с космическим мусором различ-

ними способами: защитные экраны, сетки-ловушки, усиление конструкции и т.д. Существует огромное количество патентов и изобретений в США, Японии, России, Украине, Италии, Китае по созданию различных систем по уборке ОКП от космического мусора, но реально работающих сегодня на орбитах таких систем нет. Это связано в первую очередь с огромной стоимостью данных проектов, а также не всегда отработанной технологией их реализации.

Известный учёный, консультант NASA Дональд Кесслер, гипотетически описал развитие событий в ОКП, когда космический мусор приводит к полной непригодности ближнего космоса для практического использования и вводит понятие «эффект домино» к сильной «обратной связи» - чем больше мусора на орбите, тем чаще спутники выходят из строя и тем больше нужно новых спутников, что приводит к увеличению количества мусора на орбите [3]. Данный эффект назван синдромом Кесслера. На высотах 800 – 900 км плотность обломков так высока, что в ближайшее время может начаться цепная реакция неконтролируемых столкновений – так называемый каскадный эффект [3]. Фактор «космический мусор» играет важную роль в обеспечении интересов национальной безопасности государств по следующим причинам:

- информация о состоянии космического мусора характеризует фоноцелевую обстановку, которую необходимо знать при планировании и проведении любых операций в ОКП;

- космический мусор может служить удобной легендой для прикрытия целенаправленных действий против космических средств потенциального противника, например с использованием микро, нано и фемтоспутников;

- ситуация с космическим мусором, может стать предметом начала военных действий против космических средств противника, если они будут истолкованы как посягательство на права, технические средства и свободу действий в космосе.

Все изложенное выше, должно стать основой и критерием формирования концепции развития мировой и отечественной космонавтики. Потому что ОКП – это среда, в которой космические аппараты выполняют свои функции и от её состояния зависит безопасность не только находящихся на орбитах аппаратов, но и безопасность всего человечества, проживающего на планете Земля.

Каковы же тенденции развития мировой космонавтики?

1. Средства доставки – ракето-носители.

Мировая тенденция развития этого направления связана с переходом на носители лёгкого и сверхлёгкого класса. Связано это с тем, что полезная нагрузка (космические аппараты, спутники) стали легче и меньше, что привело к тому, что эффективность запуска и

вывод на орбиту большими носителями очень низкая. Изучается вопрос использования новых видов топлив, новых двигателей (переход на гиперзвук), а также новых технологий изготовления самих носителей, использования воздушного старта, создания орбитальных космических систем. Все эти направления исследований и последующее их внедрение в практику, позволят уменьшить засорение мусором ОКП.

2. Космические аппараты и спутники.

Последние достижения японских и европейских ученых в области микроэлектроники позволяют сделать вывод о том, что эра огромных и массивных спутников закончилась. Сегодняшние спутники – это спутники изготовленные по пико- и фемтотехнологиям. Вес их колеблется от сотен грамм до нескольких грамм. Уже на подходе (исследования практически завершаются) работы в создании сверхвысокотехнологических и суперминиатюрных систем «космической пыли» (space dust). Эти технологии позволят создать сети и группировки из «космической пыли», которая и будет обеспечивать в будущем космическую связь и навигацию.

Интересным является проект британских учёных Cube Sail [1]. Разрабатываемые в рамках этого проекта микро и наноспутники будут оборудованы солнечным парусом, после завершения работы, спутники найдут обломок космического мусора, прикрепятся к нему и будут использовать солнечный парус как космический тормоз. Войдя в плотные слои атмосферы спутник вместе с обломком сгорит в верхних слоях атмосферы. Идей и проектов, описанных выше, огромное множество и необходима профессиональная оценка этих идей экспертами разных стран, чтобы в дальнейшем включить их в план международных.

3. Космические технологии.

Прорыв в создании новых материалов, сплавов, химических соединений, лёг в основу создания новых компонентов ракет-носителей, космических аппаратов, солнечных батарей, аккумуляторных батарей с повышенным сроком действия, новых видов топлив, свободных от выбрасывания в ОКП мелкодисперсных частиц.

Для конструкции космического аппарата разрабатываются технологии использования материалов с высоким пределом текучести (некоторые сплавы алюминия, слоистых материалов, композитов). Использование защитных систем обшивки кораблей на основе материалов типа: Beta cloth, Nxtel, Kevlar [1].

Вот тот неполный перечень технологий, которые могут быть использованы при создании как ракет-носителей, так и космических аппаратов. Эти технологии позволят не только создавать космические объекты с высоким уровнем технологичности, но и обеспечить уменьшение накопления космического мусора на орбитах.

4. Орбитальное сервисное обслуживание.

Идея создания орбитального сервисного обслуживания состоит из выполнения набора космических операций по отношению к космическим объектам. Главными задачами этого обслуживания являются: транспортные, мониторинг, обслуживание, утилизация космической деятельности, космическое строительство.

Структурно эти задачи состоят из:

- перемещения космического аппарата на рабочую орбиту или на орбиту захоронения;
- дозаправка топливом аппарата;
- замена компонент (ремонт, апгрейд);
- сборка сложных космических объектов;
- уборка космического мусора.

Работу в этом направлении активно проводит ПАО «Элмиз» (Украина, Киев), совместно с Европейским космическим агентством. Считаю это направление исследований своевременным, полезным и актуальным. Реализация этого проекта существенно снизит засорение ОКП космическим мусором. Теперь о том, как должна развиваться отечественная космонавтика. Нарушенные экономические связи с Российской Федерацией требуют переосмысления стратегии развития отечественной космонавтики. Украина должна стать активным партнером в реализации Седьмой Рамочной программы Евросоюза (Горизонт – 2020), а также в проектах «Галилео», «Вега», а также «Антарес» (NASA). Проекты «Днепр», «Наземный старт» и «Морской старт» будут на ближайшее время заморожены из-за событий на востоке Украины. По моему глубокому убеждению, Украина, обладая замкнутым циклом создания ракет-носителей, космических аппаратов, ракетных двигателей должна вернуться к забытому проекту «Воздушный старт», а также перспективному и прорывному проекту «Артиллерийская ракетно-космическая система». Реализация этих проектов позволит выйти на новый виток реализации перспективных идей, обеспечить независимость в создании группировки космических аппаратов отечественного образца и создать свою национальную спутниковую

систему. Это позволит не оплачивать услуги иностранных спутников, не закупать за огромные деньги необходимые нам снимки с космических аппаратов для проведения исследований по ДЗЗ и тем самым реализовать независимую политику в сфере освоения космического пространства, обеспечении безопасности страны.

Выводы

Реализация этих проектов потребует внедрение новых технологий, инвестиций со стороны как зарубежных, так и отечественных компаний, переоснащение производственного парка, привлечение молодых учёных с их нестандартными идеями. Мировое научное сообщество, в области освоения космического пространства, уже определило вектор развития мировой космонавтики и Украина должна быть в фарватере этих исследований, чтобы не остаться на задворках и развалинах исторического процесса, а стать пионером использования новых технологий, обеспечивающих экологическую безопасность околоземного космического пространства, а также национальную безопасность.

Список литературы

1. Техногенное засорение околоземного космического пространства. Отраслевое пособие / А.П. Алтаев, В.П. Басс и др. – Дн-ск, Пороги, 2012. – 378 с.
2. Фролов В.Ф. Екологічна безпека біосфери Землі і Космосу. Монографія / В.Ф. Фролов. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2015. – 220 с.
3. Кесслер Д. Дж. Прогноз засорения космического пространства / Д. Дж. Кесслер // *Аэроэосмическая техника*. – 1985. – № 1. – С. 145-147.
4. Жигун Л. Об экологической опасности космической деятельности / Л. Жигун, В. Фролов // *Арсенал XXI століття*. – 2002. – № 1. – С. 63 – 66.

Надійшла до редколегії 22.09.2015

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

ДО ПИТАННЯ ПРО КОНЦЕПЦІЮ РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ ТА ВІТЧИЗНЯНОЇ КОСМОНАВТИКИ

В.Ф. Фролов

У статті розглядається концепція розвитку космонавтики з урахуванням стану середовища, навколоземного космічного простору, в якому відбуваються космічні дослідження.

Розглянуті тенденції розвитку сучасних космічних технологій, які забезпечують екологічну безпеку Космосу.

Ключові слова: космічне сміття, екологічна катастрофа, космічний апарат, критерій, концепція, технології, екологічна безпека.

REVISITING THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF THE WORLD AND NATIONAL COSMONAUTICS

V.F. Frolov

The article discusses the concept of development of cosmonautics, taking into account the state of the near space environment where space explorations take place. The article proposes the tendencies of modern space technologies development which will ensure the environmental safety of the Cosmos.

Keywords: space debris, environmental disaster, spacecraft, criterion, concept, technologies, environmental safety.

ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

УДК 621.396.96.095.4:528.8.04-047.27

В.К. Волосяк¹, Е.Н. Тимошук²

¹ *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

² *Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Украина*

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ КОГЕРЕНТНОСТИ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Синтезированы алгоритмы оптимальной обработки пространственно-временных сигналов протяженных источников радиотеплового излучения при построении их радиояркостных изображений. В отличие от алгоритмов, использующих комплексные функции пространственной когерентности при обработке узкополосных сигналов, особенностью синтезированных алгоритмов является применение вещественных функций пространственно-временной когерентности для случаев обработки широкополосных и сверхширокополосных сигналов.

Ключевые слова: *функция пространственной когерентности, оптимальный алгоритм, обработка широкополосных пространственно-временных сигналов.*

Введение

Классические алгоритмы формирования изображений в узкополосных системах апертурного синтеза содержат операции формирования комплексных функций пространственной когерентности и применения к ним в соответствии с теоремой Ван Цитерта-Цернике пространственного преобразования Фурье [1-4]. В широкополосных и сверхширокополосных системах использование функций только лишь пространственной когерентности не является достаточным. В этом случае необходимо учитывать корреляцию принимаемых сигналов и по пространственным переменным и во времени.

Целью данной работы является синтез оптимальных алгоритмов восстановления радиояркостных изображений протяженных источников широкополосного и сверхширокополосного излучения с учетом особенностей применения вещественных функций пространственно-временной когерентности излучения, регистрируемого в области раскрыва антенной системы.

Статистическое описание уравнения наблюдения

Модель уравнения наблюдения электромагнитного поля собственного радиотеплового излучения исследуемого протяженного объекта запишем как

$$u_{\Sigma}(t, \vec{r}') = u_s(t, \vec{r}') + u_n(t, \vec{r}') + n_p(t, \vec{r}'), \quad (1)$$
$$\vec{r}' = (x', y') \in D', \quad t \in (0, T),$$

где $u_s(t, \vec{r}')$ – излучение исследуемого объекта на выходах входных устройств или линейных частей радио-

метрических приемников (ЛЧП), $u_n(t, \vec{r}')$ – внутренние шумы пространственно-распределенной антенной системы, $n_p(t, \vec{r}')$ – небольшой шум, добавляемый к уравнению наблюдения, который необходим для статистической регуляризации решения обратной задачи синтеза оптимальных алгоритмов обработки наблюдаемого излучения. В качестве координат элементов излучающего объекта выбраны направляющие косинусы. Область наблюдения D для раскрыва, составляющего апертуру антенной решетки (АР), можно приближенно задать такими выражениями:

$$I(\vec{r}') = \sum_{i=1}^N I_{ai}(\vec{r}' - \vec{r}_i'), \quad I_{ai}(\vec{r}' - \vec{r}_i') = \begin{cases} 1 & \vec{r}' \in D_i'; \\ 0 & \vec{r}' \notin D_i'. \end{cases}$$

Все процессы полагаем гауссовыми с корреляционными функциями следующего вида:

$$R_{\Sigma}(\tau, \Delta\vec{r}') = R_{u_s}(\tau, \Delta\vec{r}') + R_{u_n}(\tau, \Delta\vec{r}') + R_p(\tau, \Delta\vec{r}'),$$

где

$$R_{u_s}(\tau, \Delta\vec{r}') = \langle [u_s(t_1, \vec{r}_1') u_s(t_2, \vec{r}_2')] \rangle = V_F^{-1} \{ B[\vec{\vartheta}, f] \} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} B(\vec{\vartheta}, f) \exp \{ j2\pi f (\tau + c^{-1} \vec{\vartheta} \cdot \Delta\vec{r}') \} df d\vec{\vartheta}, \quad (2)$$

$$R_{u_n}(\tau, \Delta\vec{r}') = \langle u_n(t_1, \vec{r}_1') u_n(t_2, \vec{r}_2') \rangle = \frac{N_0}{2} H(\tau) \delta(\Delta\vec{r}'),$$

$$R_p(\tau, \Delta\vec{r}') = (N_{0p}/2) \delta(\tau) \delta(\Delta\vec{r}'), \quad (3)$$

$$\tau = t_1 - t_2, \quad \Delta\vec{r}' = \vec{r}_1' - \vec{r}_2',$$

$$H(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t_1 - t') h(t_2 - t') dt' = F^{-1} \left[\left| \dot{K}(j2\pi f) \right|^2 \right], \quad (4)$$

$h(\tau) = F^{-1}[\dot{K}(j2\pi f)]$ – импульсная характеристика ЛЧП, $F[\cdot]$ – знак преобразования Фурье, $h_k(t_1 - \tau)$ – импульсная характеристика,

$$B(\bar{\vartheta}, f) = |\dot{K}(j2\pi f)|^2 |\dot{F}_A(\bar{\vartheta}, f)|^2 B_o(\bar{\vartheta}, f) \quad (5)$$

спектрально-угловая плотность мощности излучения. Эта статистическая характеристика излучения связана с корреляционной функцией $R_{u_s}(\Delta\bar{r}', \tau)$

преобразованиями V_F [5, 6].

Полагается, что процессы $u_s(\bar{r}', t)$ ограничены коэффициентами передачи $\dot{K}(j2\pi f)$ входных устройств, или ЛЧП, и диаграммами направленности $\dot{F}_A(\bar{\vartheta}, f)$ (ДН) отдельных антенн в антенной решетке (АР). Оптимальной оценке в данной задаче подлежит спектрально-угловая плотность мощности излучения $B_o(\bar{\vartheta}, f_0) = B_o(\bar{\vartheta})$ на центральной частоте настройки радиометрической системы f_0 , которая полагается постоянной в пределах АЧХ $|\dot{K}(j2\pi f)|$ и которую будем называть радиоярким изображением (РЯИ) исследуемого протяженного источника излучения. Если ввести понятие эффективной полосы частот радиометрической системы

$$\Delta F = \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{K}(j2\pi f)|^2 df,$$

то величина

$$\begin{aligned} I(\bar{\vartheta}) &= \int_{-\infty}^{\infty} B_o(\bar{\vartheta}, f) |\dot{K}(j2\pi f)|^2 df = \\ &= B_o(\bar{\vartheta}, f_0) \int_{-\infty}^{\infty} |\dot{K}(j2\pi f)|^2 df = B_o(\bar{\vartheta}) \Delta F \end{aligned}$$

является интенсивностью излучения, принятого из направления $\bar{\vartheta}$. Как функция этой переменной она также является искомым радиоярким изображением. Алгоритм оптимальной оценки РЯИ $B_o(\bar{\vartheta})$ или, что то-же самое, $I(\bar{\vartheta})$ (с точностью до постоянного коэффициента ΔF) находим из решения вариационного уравнения правдоподобия вида:

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty(D')}^{\infty(D')} \int_{-\infty(D')}^{\infty(D')} \iint_{\Gamma\Gamma} I(\bar{r}') I(\bar{r}'_2) \frac{\delta R[t_1, t_2, \bar{r}'_1, \bar{r}'_2]}{\delta B_o(\bar{\vartheta})} \times \\ &\quad \times W[t_1, t_2, \bar{r}'_1, \bar{r}'_2] dt_1 dt_2 d\bar{r}'_1 d\bar{r}'_2 = \\ &= \int_{-\infty(D')}^{\infty(D')} \int_{-\infty(D')}^{\infty(D')} \iint_{\Gamma\Gamma} I(\bar{r}'_1) I(\bar{r}'_2) \frac{\delta W_{\Sigma}[t_1, t_2, \bar{r}'_1, \bar{r}'_2]}{\delta B_o(\bar{\vartheta})} \times \\ &\quad \times u(t_1, \bar{r}'_1) u(t_2, \bar{r}'_2) dt_1 dt_2 d\bar{r}'_1 d\bar{r}'_2, \end{aligned}$$

где $\delta R_{k\Sigma}/B_o(\bar{\vartheta})$, $\delta W_{k\Sigma}/B_o(\bar{\vartheta})$ – вариационные (функциональные) производные [7].

Обратную корреляционную функцию находим (приближенно) из уравнения обращения

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_{k\Sigma}[t_1 - t_2, \bar{r}'_1 - \bar{r}'_2] W_{k\Sigma}[t_2 - t_3, \bar{r}'_2 - \bar{r}'_3] dt_2 d\bar{r}'_2 = \delta(t_1 - t_3) \delta(\bar{r}'_1 - \bar{r}'_3)$$

на бесконечном интервале наблюдения, полагая случайные процессы стационарными. Применяя к обеим частям уравнения преобразование V_F , получим

$$\begin{aligned} W_{k\Sigma}[\tau, \Delta\bar{r}'] &= V_F^{-1} \left\{ \frac{f^4}{c^4} B_{\Sigma}^{-1}[f, \bar{\vartheta}] \right\}, \\ B_{\Sigma}(f, \bar{\vartheta}) &= V_F \{ R_{\Sigma}(\tau, \Delta\bar{r}') \} = \\ &= B(f, \bar{\vartheta}) + \frac{f^2}{c^2} \frac{N_0}{2} |\dot{K}(j2\pi f)|^2 + \frac{f^2}{c^2} \frac{N_{0p}}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

где

После подстановки в уравнение правдоподобия V_F -преобразований корреляционной и обратной корреляционных функций, получим

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{\infty} \left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\vartheta}) \right|^2 \times \\ &\times \int_{-\infty(\Delta\bar{r}', D')}^{\infty(\Delta\bar{r}', D')} \dot{R}_{АР} (f, \Delta\bar{r}') \dot{\Gamma}_{Bk\Sigma} (f, \Delta\bar{r}') \times \\ &\quad \times e^{j2\pi \frac{f}{c} \bar{\vartheta} \Delta\bar{r}'} df d\Delta\bar{r}' = \\ &= \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\vartheta}) \right|^2 \left| \dot{S}_{TD'}(j2\pi f, \bar{\vartheta}) \right|^2 df, \\ &\dot{\Gamma}_{Bk\Sigma} (f, \Delta\bar{r}') = F \left[B_{k\Sigma} (f, \bar{\vartheta}) \right] = \\ &= \int_{-\infty(\Theta)}^{\infty} B_{k\Sigma} (f, \bar{\vartheta}) \exp \left(j2\pi f \frac{\bar{\vartheta} \Delta\bar{r}'}{c} \right) d\bar{\vartheta} \end{aligned} \quad (7)$$

где

– спектральная плотность комплексной функции пространственной когерентности, являющаяся пространственным образом Фурье спектральной яркости $B_{k\Sigma}(f, \bar{\vartheta})$,

$$\begin{aligned} \dot{R}_{АР} (f, \Delta\bar{r}') &= R_{АР} (\Delta\bar{r}') = \\ &= \int_{-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}') I(\bar{r}' - \Delta\bar{r}') d\bar{r}' = \\ &= \left(\frac{f}{c} \right)^2 \int_{-\infty(\Omega)}^{\infty} \left| \dot{\Psi}_{D'} \left(\frac{f}{c} \bar{\vartheta} \right) \right|^2 \exp \left(j2\pi f \frac{\bar{\vartheta} \Delta\bar{r}'}{c} \right) d\Delta\bar{r}' \end{aligned} \quad (9)$$

– автокорреляционная функция (АКФ) амплитудно-фазового распределения (АФР) раскрыва $I(\bar{r}')$, являющаяся в свою очередь пространственным образом Фурье квадрата модуля функции неопределенности радиометрической системы

$$\begin{aligned} &\dot{\Psi}_{D'} [f(\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2)] = \\ &= \int_{-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}') \exp [j2\pi f \cdot (\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2) \bar{r}' / c] d\bar{r}', \end{aligned} \quad (10)$$

определяющей ее разрешающую способность на каждой конкретной частоте f ,

$$\left| \dot{S}_{TD'}(j2\pi f \bar{\vartheta}) \right|^2 = \left| \int_{T-\infty}^{\infty} \int_{(D')} I(\bar{r}') u_{\Sigma}(t, \bar{r}') \exp \left[\pm j2\pi f \left(t + \frac{\bar{\vartheta} \bar{r}'}{c} \right) \right] dt d\bar{r}' \right|^2 \quad (11)$$

– пространственно-временная V_F -периодограмма, являющаяся обобщением периодограммы Фурье,

$$\left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\vartheta}) \right|^2 = \frac{f^4 \left| \dot{K}(j2\pi f) \dot{F}_A(\bar{\vartheta}, f) \right|^2}{c^4 B_{\Sigma}^2(f, \bar{\vartheta})} \quad (12)$$

– квадрат модуля коэффициента передачи декоррелирующего фильтра. Числитель этого выражения определяет структуру согласованного фильтра, а знаменатель – инверсного. В целом этот фильтр расширяет полосу частот радиометрического приемника, осуществляя декорреляцию принимаемого случайного процесса, тем самым повышая число его некоррелированных отсчетов и повышая эффективность усреднения сигналов после соответствующего их квадратичного детектирования.

С учетом выражений (8) и (9) внутренний интеграл в левой части уравнения (7) можно записать в таком виде

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_{AFR}(\Delta \bar{r}') R_{k\Sigma}(\tau, \Delta \bar{r}') \times \\ & \times \exp \left\{ -j2\pi f \left(\tau + \frac{\bar{\vartheta}_1 \Delta \bar{r}'}{c} \right) \right\} dt d\Delta \bar{r}' = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{R}_{AFR}(f, \Delta \bar{r}') \dot{r}_{Bk\Sigma}(f, \Delta \bar{r}') \times \\ & \times e^{j2\pi \frac{f}{c} \bar{\vartheta}_1 \Delta \bar{r}'} d\Delta \bar{r}' = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} \left| \dot{\Psi}_{D'}[f(\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2)] \right|^2 B_{\Sigma}(f, \bar{\vartheta}_2) d\bar{\vartheta}_2. \quad (13) \end{aligned}$$

В широкополосной или многочастотной системе это равенство описывает на каждой конкретной частоте в отдельности и физическую сущность результата пространственной обработки сигнала и физическую сущность основных алгоритмических операций. В левой части равенства (13) стоят операции формирования пространственно-временной корреляционной функции, ее умножения на автокорреляционную функцию АФР и применения к полученному результату преобразования V_F .

Средняя часть этого равенства свидетельствует о том, что для построения радиояростного изображения объекта необходимо на каждой частоте сформировать функцию пространственной когерентности, умножить ее на автокорреляционную функцию АФР и применить к полученному произведению пространственное преобразование Фурье.

В правой части этого равенства получим на каждой частоте изображение объекта $B_{\Sigma}(f, \bar{\vartheta})$, искаженное шумовыми добавками (6) и сглаженное квадратом модуля функции неопределенности $\left| \dot{\Psi}_{D'}[f(\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2)] \right|^2$. Окончательное РЯИ получим в результате интегрирования этих выражений по частоте в пределах полосы частот АЧХ $\left| \dot{L}[j2\pi f, \bar{\vartheta}_1] \right|$.

Подставив в последнее выражение формулу (6), и проинтегрировав полученный результат с весом $\left| \dot{L}[j2\pi f, \bar{\vartheta}_1] \right|^2$, приводим уравнение (7) к виду

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{+\infty} B_0(f_0, \bar{\vartheta}_1) \Psi_w(\bar{\vartheta}_1, \bar{\vartheta}) d\bar{\vartheta}_1 = \\ & = \frac{1}{T} Y_{\text{вых}}(\bar{\vartheta}) - B_n - B_{np}, \quad (14) \end{aligned}$$

где

$$Y_{\text{вых}}(\bar{\vartheta}) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \dot{L}[j2\pi f, \bar{\vartheta}] \right|^2 \left| \dot{S}_{kTD'}(j2\pi f, \bar{\vartheta}) \right|^2 df \quad (15)$$

– выходной эффект радиометрической системы, содержащий основные алгоритмические операции оптимальной обработки радиотеплового излучения,

$$\begin{aligned} & \Psi_w(\bar{\vartheta}_1, \bar{\vartheta}_2) = \\ & = \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\vartheta}_1) \right|^2 \left| \dot{K}(j2\pi f) \dot{F}_A(\bar{\vartheta}_1, f) \right|^2 \times \\ & \times \left| \dot{\Psi}_{D'}[f(\bar{\vartheta}_1 - \bar{\vartheta}_2)] \right|^2 df \quad (16) \end{aligned}$$

– результирующая функция неопределенности, характеризующая разрешающую способность радиометрической системы (без ограничений на широкополосность).

Смещения B_n и B_{np} оценок яркости $B_0(f_0, \bar{\vartheta})$ обусловлены слагаемыми в (6), содержащими помеховые компоненты $u_n(t, \bar{r}')$, $n_p(t, \bar{r}')$. Эти смещения устранимы при известных СПМ N_0 и N_{0p} , например, при использовании схем компенсационных радиометров.

Заметим, что в узкополосных системах оценку РЯИ можно получить, формируя на центральной частоте f_0 настройки радиометрической системы только лишь комплексную функцию пространственной когерентности (8) и применяя к ней в соответствии с теоремой Ван-Циттерта Цернике пространственное преобразование Фурье. Однако в узкополосной системе качество формирования РЯИ будет хуже, и определяться функцией неопределенности (10), которая более широкая и имеет бóльший уровень боковых лепестков по сравнению с функцией неопределенности широкополосной системы (16).

Также отметим, что левая часть интегрального уравнения (14) является математическим ожиданием правой. Вместо приближенного равенства между ними не знак равенства, а знак приравнивания. Непосредственно основные алгоритмические операции над принятым пространственно-временным сигналом отражены в правой части этого уравнения в выходном эффекте $Y_{\text{ВЫХ}}(\bar{\Theta})$. Это операции формирования V_F -периодограммы (11) и ее интегрирования по частотам в полосе АЧХ $|\dot{L}[j2\pi f, \bar{\Theta}_1]|$.

Рассмотрим структуру периодограммы (11)

$$\begin{aligned} & \left| \dot{S}_{TD'}(j2\pi f, \bar{\Theta}) \right|^2 = \\ & = \left| \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}') u_{\Sigma}(t, \bar{r}') \exp \left\{ -j2\pi f \left(t + \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'}{c} \right) \right\} dt d\bar{r}' \right|^2 = \\ & = \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \left\{ \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}'_1) I(\bar{r}'_2) u_{\Sigma}(t_1, \bar{r}'_1) u_{\Sigma}(t_2, \bar{r}'_2) dt_1 d\bar{r}'_1 \right\} \times \\ & \quad \times \exp \left\{ -j2\pi f \left((t_1 - t_2) + \frac{\bar{\Theta}(\bar{r}'_1 - \bar{r}'_2)}{c} \right) \right\} dt_2 d\bar{r}'_2. \end{aligned}$$

Тогда выходной эффект

$$\begin{aligned} Y_{\text{ВЫХ}}(\bar{\Theta}) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\Theta}) \right|^2 \times \\ & \quad \times \left| \dot{S}_{TD'}(j2\pi f, \bar{\Theta}) \right|^2 df = \\ &= T \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} H_w \left(\tau + \frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c} \right) R_{\text{АФР}}(\Delta \bar{r}') \times \\ & \quad \times \hat{R}_{\Sigma}(\tau, \Delta \bar{r}') \Delta \bar{r}' d\tau = \\ &= T \int_{-\infty(D')}^{\infty} R_{\text{АФР}}(\Delta \bar{r}') \hat{R}_{\Sigma W} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c}, \Delta \bar{r}' \right) d\Delta \bar{r}', \quad (17) \end{aligned}$$

где

$$\hat{R}_{\Sigma}(\tau, \Delta \bar{r}') = \int_T u_{\Sigma}(t, \bar{r}') u_{\Sigma}(t - \tau, \bar{r}' - \Delta \bar{r}') dt \quad \text{— оценка}$$

пространственно-временной корреляционной функции (вещественной функции когерентности) поля в области раскрытия антенной системы,

$$\hat{R}_{\Sigma W} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c}, \Delta \bar{r}' \right) = \int_T \hat{R}_{\Sigma}(\tau, \Delta \bar{r}') H_w \left(\tau + \frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c} \right) dt$$

— оценка функции когерентности задержанных и декоррелированных в фильтрах $\dot{L}(j2\pi f, \bar{\Theta})$ принятых сигналов,

$$\begin{aligned} H_w(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} \left| \dot{L}(j2\pi f, \bar{\Theta}) \right|^2 e^{j2\pi f \tau} df = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h_w(v) h_w(v + \tau) dv, \quad (18) \end{aligned}$$

$h_w(\tau)$ — импульсная характеристика декоррелирующего фильтра. Учитывая формулу (18), выражение (17) для выходного эффекта можно также представить в таком виде

$$\begin{aligned} Y_{\text{ВЫХ}}(\bar{\Theta}) &= \int_T \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}'_1) I(\bar{r}'_2) \times \\ & \quad \times u_{\Sigma}(t_1, \bar{r}'_1) u_{\Sigma}(t_2, \bar{r}'_2) H_w \times \\ & \quad \times \left[t_1 - t_2 + \frac{\bar{\Theta}(\bar{r}'_1 - \bar{r}'_2)}{c} \right] dt_1 dt_2 d\bar{r}'_1 d\bar{r}'_2 \approx \\ & \quad \approx \left| t' = t + \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'}{c} \right| \approx \\ & \approx \int_{-\infty}^{\infty} dt \int_{T-\infty(D')}^{\infty} \int_{T-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}'_1) I(\bar{r}'_2) \times \\ & \quad \times u_{\Sigma} \left(t'_1 - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'_1}{c}, \bar{r}'_1 \right) u_{\Sigma} \left(t'_2 - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'_2}{c}, \bar{r}'_2 \right) \times \\ & \quad \times h_w(t - t'_1) h_w(t - t'_2) dt'_1 dt'_2 d\bar{r}'_1 d\bar{r}'_2 = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} dt \int_{-\infty(D')}^{\infty} \int_{-\infty(D')}^{\infty} I(\bar{r}'_1) I(\bar{r}'_2) \times \\ & \quad \times u_w \left(t - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'_1}{c}, \bar{r}'_1 \right) u_w \left(t - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'_2}{c}, \bar{r}'_2 \right) d\bar{r}'_1 d\bar{r}'_2 = \\ &= T \int_{-\infty(D')}^{\infty} R_{\text{АФР}}(\Delta \bar{r}') \hat{R}_{\Sigma W} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c}, \Delta \bar{r}' \right) d\Delta \bar{r}'. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь

$$u_w \left(t - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'}{c}, \bar{r}' \right) dt = \int_T h_w(t - \tau) u_{\Sigma} \left(\tau - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'}{c}, \bar{r}' \right) d\tau -$$

сигнал $u_{\Sigma}(t, \bar{r}')$, полученный после декорреляции в

фильтрах с АЧХ $|\dot{L}(j2\pi f, \bar{\Theta})|$ и задержки на время $\frac{\bar{\Theta} \bar{r}'}{c}$,

которое соответствует времени запаздывания наклонного фронта падающего поля, что позволяет сфокусировать антенную систему на заданное направление при интегрировании (сложении) сигналов, полученных со всех ее элементов,

$$\begin{aligned} \hat{R}_{\Sigma W} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c}, \Delta \bar{r}' \right) &\approx \\ &\approx \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} u_w \left(\tau - \frac{\bar{\Theta} \bar{r}'_1}{c}, \bar{r}'_1 \right) \times \\ & \quad \times u_w \left(\tau - \frac{\bar{\Theta}(\bar{r}'_1 - \Delta \bar{r}')}{c}, \bar{r}'_1 - \Delta \bar{r}' \right) d\tau \end{aligned} \quad (20)$$

оценка корреляционной функции декоррелированных сигналов, задержанных на время $\tau = -\frac{\bar{\Theta} \Delta \bar{r}'}{c}$,

необходимое для фокусировки системы на соответствующие направления, покрывающие сектор обзора протяженного объекта.

Таким образом, для оптимальной оценки изображения $B_0(f_0, \bar{\Theta})$ необходимо в парных элементах областей раскрытия с координатами \bar{r}' и $\bar{r}' - \Delta\bar{r}'$, заполненных апертурами с АФР $I(\bar{r}')$, сформировать вещественную пространственно-временную функцию когерентности декоррелированных и задержанных процессов, умножить ее на автокорреляционную функцию АФР, проинтегрировать по всем возможным разностям координат $\Delta\bar{r}'$ и вычесть смещения оценок B_n и B_{np} . Для дискретных антенных систем (антенных решеток)

$$\begin{aligned} Y_{\text{вых}}(\bar{\Theta}) &= T \int_{-\infty(D')}^{\infty} R_{\text{АФР}}(\Delta\bar{r}') \times \\ &\times \hat{R}_{\Sigma W} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta}\Delta\bar{r}'}{c}, \Delta\bar{r}' \right) d\Delta\bar{r}' \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_{\text{АФР}}(\Delta\bar{r}'_{ij}) \Delta\bar{r}' \int u_w \left(t - \frac{\bar{\Theta}\bar{r}'_i}{c}, \bar{r}'_i \right) \times \\ &\times u_w \left(t - \frac{\bar{\Theta}(\bar{r}'_i - \Delta\bar{r}'_{ij})}{c}, \bar{r}'_i - \Delta\bar{r}'_{ij} \right) dt = \\ &= T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \Delta\bar{r}' R_{\text{АФР}}(\Delta\bar{r}'_{ij}) \hat{R}_{\Sigma W_{ij}} \left(\tau = -\frac{\bar{\Theta}\Delta\bar{r}'_{ij}}{c}, \Delta\bar{r}'_{ij} \right). \end{aligned}$$

Здесь $\Delta\bar{r}' = \Delta x' \Delta y'$ – интервал дискретизации раскрытия D' . Если пренебречь АКФ АФР элементарных антенн, то этот интервал приближенно может быть определен расстояниями между фазовыми центрами элементов АР, расположенных в узлах дискретизации.

Выводы

Получены алгоритмы оптимального восстановления радиоярких изображений в широкополосных системах апертурного синтеза с использова-

нием функций пространственно-временной когерентности. Их отличительной особенностью является применение операций декорреляции принятых пространственно-временных сигналов и введения задержек во времени, обеспечивающих максимальную корреляцию принятых сигналов на множестве направлений, покрывающих сектор обзора протяженного объекта. Операции декорреляции позволяют повысить число некоррелированных отсчетов принятого сигнала и, соответственно, эффективность их усреднения.

Список литературы

1. G.W. Swenson, "Radio astronomical imaging from coherence data," *Image Processing, 1994. Proceedings. ICIP-94., IEEE International Conference, Austin, TX, 1994, pp. 1-5 vol.3. doi: 10.1109/ICIP.1994.413900.*
2. Есепкина, Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А. Есепкина, Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский. – М.: Наука, 1973. – 416 с.
3. Christiansen W.N. Radiotelescopes. 2nd edition / W.N. Christiansen, J.A. Högbom. – Cambridge University Press, Cambridge, 1985. – 265 p.
4. Ван Схонвелд К. Построение изображений в астрономии по функциям когерентности / Ван Схонвелд К. – М.: Мир, 1982. – 318 с.
5. Волосяк, В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации / В.К. Волосяк, В.Ф. Кравченко. – М.: Физматлит, 2008. – 704 с.
6. Волосяк В.К. Преобразование полей и их корреляционных функций в спектральные характеристики протяженных источников широкополосного излучения / В.К. Волосяк // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1993. – Т.36, № 6. – С. 27-30.
7. Дубков, А.А. Современные методы статистического анализа процессов переноса в биологических системах / А.А. Дубков. – Н. Новгород, 2007. – 92 с.

Надійшла до редколегії 30.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.В. Павліков, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДІЙСНИХ ФУНКЦІЙ КОГЕРЕНТНОСТІ У ШИРОКОСМУГОВИХ РАДІОМЕТРИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

В.К. Волосяк, О.М. Тимошук

Синтезовані алгоритми оптимальної обробки просторово-часових сигналів протяжних джерел радіотеплового випромінювання при побудові їх радіояскравістних зображень. На відміну від алгоритмів, що використовують комплексні функції просторової когерентності при обробці вузькосмугових сигналів, особливістю синтезованих алгоритмів є застосування дійсних функцій просторово-часової когерентності для випадків обробки широкосмугових і надшироко-смугових сигналів.

Ключеві слова: функція просторової когерентності, оптимальний алгоритм, обробка широкосмугових просторово-часових сигналів.

USAGE FEATURES OF REAL FUNCTIONS OF COHERENTNESS IN WIDEBAND RADIOMETRIC COMPLEXES

V.K. Volosyuk, O.M. Tymoshchuk

Algorithms of optimal spatio-temporal signal processing of extended sources of radiothermal radiation with forming of their radio brightness images was synthesized. Unlike from algorithms which use complex functions of spatio-temporal coherence function while processing of narrowband signals, the feature of synthesized algorithms is applying of real functions of spatio-temporal coherence function for the cases of wide- and ultrawideband signal processing.

Key words: spatial coherence function, optimal algorithm, spatio-temporal wideband signal processing.

УДК 621.7396

М.А. Калашник, Д.Н. Обидин

Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОТДЕЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ПОЛЕТА

Рассмотрены существующие научно-методические подходы по обеспечению функциональной устойчивости сложных технических систем летательного аппарата. Проанализированы основные причины возможных отказов пилотажно-навигационного комплекса на разных этапах полета летательного аппарата. Определена нерешенная ранее задача по обеспечению функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета, предложены новые подходы по разработке эффективной методики обеспечения функциональной устойчивости.

Ключевые слова: пилотажно-навигационный комплекс, функциональная устойчивость, отдельные режимы полета.

Общая постановка проблемы и связь с практическими заданиями

При различных режимах полета на работу пилотажно-навигационного оборудования могут воздействовать внутренние и внешние неблагоприятные факторы, способные вывести его из строя или привести к возникновению ошибок в показаниях приборов и позиционирования ЛА в пространстве.

Пилотирование в обычных условиях полетов вырабатывает у летчика определенный стереотип распределения внимания. При отказе каких-либо приборов этот стереотип нарушается, что затрудняет своевременное считывание показаний приборов и может вызвать ошибки в технике пилотирования [1]. Иными словами, если в полете возникла ситуация отказа бортового пилотажно-навигационного оборудования, то пилоту необходимо уделить много времени на настройку или проверку работы данных приборов, оценку ситуации и возможный перезапуск оборудования или устранение неполадки, что негативно отражается на качестве выполнения и безопасности полета.

Основными путями решения проблемы обеспечения заданного уровня безопасности полета в условиях отказа ПНК являются уменьшение влияния человеческого фактора при пилотировании ЛА за счет автоматизации управления и обеспечения минимально необходимого уровня работоспособности систем ЛА путем перераспределения аппаратных, программных и вычислительных ресурсов.

Таким образом, частью проблемы обеспечения безопасности полетов является обеспечение функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата при воздей-

ствии на него внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

Анализ последних исследований и публикаций. В последние годы по мере значительного повышения сложности технических систем и расширения класса задач, решаемых ими, возникла острая необходимость в обеспечении высокого уровня их надежности (безотказности), отказоустойчивости и живучести. Но повышение этих свойств влечет за собой необходимость использования разного рода «избыточности» системы, что значительно ее усложняет.

Для решения этой проблемы Машковым О.А. впервые введено понятие функциональной устойчивости динамической системы [2], «как свойства системы, заключающейся в способности выполнять хотя бы установленный минимальный объем своих функций при отказах в информационной, вычислительной и энергетической частях системы, а также воздействии внешних возмущений, предусмотренных условиями эксплуатации». Кроме того, это понятие включает в себя понятия надежности, отказоустойчивости и живучести.

Дальнейшее развитие понятийный аппарат функциональной устойчивости получил при решении ряда проблем обеспечения функциональной устойчивости для конкретных технических систем.

Так Барабаш О.В. рассмотрел решение проблемы обеспечения функциональной устойчивости распределенных информационных систем [3, 4],

Кравченко Ю.В. была решена проблема ФУ псевдоспутниковых радионавигационных систем [5].

В работах Неделько С.Н. [6] была рассмотрена проблема обеспечения функциональной устойчивости автоматизированной системы управления воздушным движением.

Обидиним Д.Н. была решена проблема обеспечения свойством функциональной устойчивости интеллектуальной системы автоматического управления ЛА [7].

Также отдельные задачи обеспечения функциональной устойчивости отражены в работах Авижиениса А., Пархоменко П.П., Гуляева В.А., Коростиля Ю.М., Демьянчука В.С., Баранова Г.Л., Тоценко В.Г., Кононова А.А., Савченко В.А. и др. отечественных и зарубежных ученых.

Обеспечение функциональной устойчивости достигается применением в сложной системе различных, уже существующих видов избыточности (аппаратурной, структурной, временной, информационной, функциональной, погрузочной и др.) путем перераспределения ресурсов с целью парирования последствий нештатных ситуаций. Особое внимание в теории функциональной устойчивости обращено на то, что на этапе проектирования не должна вводиться дополнительная избыточность, а парирования последствий нештатных ситуаций осуществляются перераспределением уже существующих ресурсов.

Задача состоит в выявлении уже существующей избыточности и формировании сигналов в нужный момент на ее перераспределение. В этом принципиальное отличие задачи обеспечения функциональной устойчивости от задачи построения структурно-избыточных систем.

Одним из актуальных направлений исследований стала разработка интеллектуальных многофункциональных оптимальных систем управления движением летательного аппарата, имеющих развитые свойства адаптации к меняющимся в широких диапазонах условий полета, возникновению нештатных ситуаций.

Особого внимания приобретают меры по обеспечению функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) летательного аппарата (ЛА) на отдельных режимах полета.

Таким образом, теория функциональной устойчивости находится в стадии развития и формирование показателей функциональной устойчивости как показателей эффективности сложных технических систем, включая ПНК ЛА, является важным направлением научных исследований. Задача обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата является одной из наиболее актуальных научных задач навигации и управления воздушным движением.

Целью статьи является разработка новых подходов для решения задач обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета.

Основная часть

К основным задачам, решаемым ПНК ЛА можно отнести задачи построения навигационной программы полета, навигационные задачи, пилотажные задачи и задачи контроля работы ПНК и режимов полета [8]. В зависимости от назначения ЛА, формируется основная целевая задача каждого полета ЛА, которая количественно, как правило, выражается вероятностными параметрами выполнения ЛА задачи в каждом конкретном условиях. Так, полную вероятность выполнения целевой задачи можно представить произведением вероятностей выполнения всех задач ПНК с учетом ограничений, от которых зависит основная целевая задача.

При полете по маршруту вероятность выполнения полной целевой задачи описывается выражением:

$$P = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (1)$$

где $P_1 = P(\Delta x_1 < \Delta_{1\text{пред}})$;

$$P_2 = P(t_{\text{ф}} < t_3);$$

$$P_i = P(a_i < a_{i\text{пред}}), \quad i = \overline{1, n},$$

где под a_i будем понимать некоторые параметры ПНК, такие как масса, стоимость или другие, под параметром $a_{i\text{пред}}$ – предельно допустимые значения параметров, под Δx_i – отклонение i -й координаты вектора состояния, под $\Delta x_{i\text{пред}}$ – предельно допустимые отклонения по i -й координате, – фактическое и заданное время достижения требуемой дальности полета.

Тогда условия, соответствующие выполнению основной задачи можно представить в виде:

$$\Delta x_i(t) < \Delta x_{i\text{гнт}}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $\Delta x_i(t) = x_{i\text{зад}}(t) - x_i(t)$ – отклонение координат вектора состояния $x_i(t)$ от программных $x_{i\text{зад}}(t)$.

Для рассмотрения подходов по обеспечению функциональной устойчивости ПНК проанализируем виды отказов ПНК на отдельных режимах полета.

Под функциональной устойчивостью ПНК ЛА будем понимать его свойство находиться в состоянии работоспособности, т.е. выполнять необходимую, полную целевую задачу в течение заданного интервала времени или наработки в условиях потока отказов из-за воздействия внешних и внутренних факторов.

Анализ исследований отказов и повреждений элементов сложных систем, проведенный различными авторами в работах [7 – 10], позволяет сделать вывод, что отказы в работе ПНК или его мо-

дулей приводят к ошибкам позиционирования ЛА в пространстве и отклонениям ЛА от линии заданного пути, что значительно влияет на уровень безопасности полетов. Основными причинами данных ошибок являются:

программные ошибки, связанные с точностью считывания координат с навигационных карт и некорректным вводом программы полета в устройства памяти ПНК;

ошибки определения координат ЛА, связанные с точностью навигационных приборов и внешними возмущающими воздействиями (тип навигационной системы, ионосферные возмущения, потеря сигнала, радиационное влияние и т.д.);

ошибки стабилизации ЛА относительно линии заданного пути, которые определяются качеством работы контуров траекторного управления в условиях действия внешних возмущений.

Таким образом, учитывая структуру ПНК и основные причины отказов, можно сделать вывод, что система имеет значительную аппаратную и программную избыточность.

Основные отказы и ошибки при работе ПНК можно парировать программным способом. Для этого рассмотрим пилотажно-навигационный комплекс как как распределенную интеллектуальную систему вида:

$$G(V,L), \quad V=\{v_i\}, \quad L=\{l_{ij}\}, \quad i,j = 1,2,\dots,n, \quad (3)$$

где множество вершин V соответствует множеству информационных модулей ПНК размерностью n . Множество ребер L соответствует множеству связей между информационными модулями.

Поскольку обеспечение функциональной устойчивости включает в себя 3 этапа:

этап определения;

этап верификации распределенной базы знаний;

этап парирования отказов ПНК [6],

то введем допущение, что отказ ПНК определен. Тогда для обеспечения функциональной устойчивости ПНК необходимо определить значение функций принадлежности μ_i для отдельных модулей v_i , $i = 1..n$, распределенных информационных модулей ПНК V на основе операций с булевыми векторами корректности модуля X_i , полученного в результате верификации распределенных информационных модулей:

$$\forall i \mid v_i \in V, \quad i = 1, \dots, |V|, \\ \exists \mu_i \mid \mu_i \in M, \quad (4)$$

$$M = \left\{ \mu_i \mid \mu_i = |X_i|^{-1} \cdot \sum_{j=1}^{|X_i|} x_{ij}, \quad i = \overline{1,n} \right\}.$$

После определения достаточной верификационной информации, на основании ее формируется

восстанавливающее управление, которое и завершает этап парирования отказов ПНК.

В общем виде задача этапа парирования заключается в определении нечеткого логического вывода вида:

$$Y = f(x_1, \dots, x_n). \quad (5)$$

На основе верификации (4) информационных модулей ПНК (3) формируется восстанавливающее управление (5) и на основании условий удовлетворения основной задачи (2) определяется вероятность выполнения полной целевой задачи при полете по маршруту или на других отдельных режимах полета.

По данным экспертов [3, 5, 7], такой подход позволит повысить эффективность применения летательного аппарата для различного рода задач, повысить точность пилотирования и безопасность полетов на 15-20%.

Выводы

При различных режимах полета на работу пилотажно-навигационного оборудования могут воздействовать внутренние неблагоприятные факторы, способные вывести из строя или привести к серьезным ошибкам в показаниях приборов.

Кроме того, во время полета на приборное оборудование самолета также влияют различные внешние факторы, что также ухудшает их работоспособность.

При отказах какого-либо оборудования на грузка на пилота увеличивается во много раз, поэтому необходимо принимать меры, которые бы способствовали разгрузке пилотов, тем самым способствуя комфортному, устойчивому и что более важно – безопасному выполнению полета.

Для снижения влияния человеческого фактора и как следствие снижения вероятности ошибки пилота необходимо развить подходы по обеспечению заданного уровня работоспособности систем самолета и автоматизации пилотирования не только в штатных режимах, но и при возникновении внештатных ситуаций на борту ЛА.

Для решения такого рода задач необходимо применять теорию функциональной устойчивости. Методы обеспечения функциональной устойчивости должны быть направлены на более полное использование имеющихся технических ресурсов сложной технической системы. Они должны базироваться на концептуальном принципе активного перераспределения имеющихся ресурсов для достижения поставленных целей, а не на пассивном автоматическом выполнении четкой программы действий.

В традиционных системах автоматического управления автономными объектами, разделен-

ных на отдельные каналы в составе датчиков, вычислителей и исполнительных механизмов, ресурсы (энергетические, вычислительные, информационные), выделяемые на управление, жестко закреплены между соответствующими каналами. При этом невозможность перераспределения ресурсов между каналами ограничивает возможности формирования функционально устойчивого управления [2].

Технологической основой обеспечения функциональной устойчивости стало создание бортовых информационно-управляющих комплексов, которые позволили комплексировать ресурсы системы и осуществлять их перераспределение.

При внедрении новых интеллектуальных систем в авиационной сфере теория функциональной устойчивости получила быстрое развитие.

Системное решение рассматриваемого вида задач управления, состоит в изменении принципа управления – в использовании для управления внутренней структуры и энергоинформационных процессов объекта управления в виде различных эффектов самоорганизации (принципа «синергетического» управления).

Список литературы

1. Выполнение полёта при отказе пилотажно-навигационных приборов на многоместных самолетах [Видеозапись]: Учебный документальный фильм / реж. О. Ананьев, А. Егоров: 1983.
2. Машков О.А. Применение теории функционально устойчивых систем для решения задач навигации и управления объектами вида «макросистема» / О.А. Машков, О.А. Кононов // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ УіН, 2007. – Вип 3. – С. 15 – 19.

3. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

4. Барабаш О.В. Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем / О.В. Барабаш, Н.М. Берназ // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2015. – Вип. 12 (137). – С. 97 – 100.

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

6. Неділько С.М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 220 с.

7. Обідін Д.М. Аналіз теперішніх та перспективних науково-методичних підходів щодо побудови авіаційних комплексів та систем / Д.М. Обідін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2014. – № 2 (15). – С. 32-34.

8. Рогожин В.О. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. Підручник / В.О. Рогожин, В.М. Сингелазов, М.К. Філяшкін. – К.: НАУ, 2005. – 316 с.

9. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.

10. Когге Ю.К. Основы надежности авиационной техники / Ю.К. Когге. – М.: Машиностроение, 1993. – 175 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2015

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

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА НА ОКРЕМИХ РЕЖИМАХ ПОЛЬОТУ

М.А. Калашник, Д.М. Обідін

Розглянуті існуючі науково-методичні підходи із забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем літального апарата, теоретичні та практичні напрацювання у цій області. Проаналізовані основні причини можливих відмов пилотажно-навігаційних приладів на різних етапах польоту літального апарату. Визначена невирішена раніше задача по створенню ефективної методики із забезпечення функціональної стійкості пилотажно-навігаційного комплексу літального апарату на окремих режимах польоту, запропоновані нові підходи її вирішення.

Ключові слова: пилотажно-навігаційний комплекс, функціональна стійкість, окремі режими польоту.

THE FORMULATION OF THE PROBLEM OF PROVISION OF FUNCTIONAL STABILITY FOR FLIGHT AND NAVIGATION SYSTEM OF AIRCRAFT AT DIFFERENT FLIGHT MODES

M.A. Kalashnyk, D.M. Obidin

There were considered existing scientific and methodological sides of provision of functional stability for complicated technical systems of aircraft, theoretical and practical works in this area. There were analyzed the main reasons of possible failures of flight control and navigation equipment at different flight phases of aircraft, crew actions during some failures of flight control and navigation system. There was defined the part that has been unsolved before, it is creation of effective methods of provision of functional stability for flight and navigation system at different flight modes and there were offered new sides in order to solve it.

Keywords: flight control and navigation system, functional stability, different flight modes.

УДК 629.52.7

О.А. Машков¹, Аль-Тамімі Рахім Касім Насер¹, Ламі Діа Джухі Хуссейн¹, В.Р. Косенко²¹ Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ,² Національний транспортний університет, Київ,

ЗАСТОСУВАННЯ НЕФОРМАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Стаття присвячена питанням управління складними динамічними системами на основі використання експертів, що дозволяє без використання складних математичних моделей синтезувати (визначити) найкращий варіант системи або об'єкта керування.

Ключові слова: управління, динамічна система, модель, експерт, оцінка, складна система управління.

Вступ

Характерним для нашого часу є прагнення використовувати формальні (математичні) методи для управління складними об'єктами. На цьому шляху зроблено вже досить багато. Однак при синтезі процесу управління складною системою неминуче також використання неформальних (експертних) методів. Цю обставину не можна розглядати як «замітання сміття під килимок». Справа в тім, що експерт є таким же джерелом інформації, як будь-який датчик, і, як усякий датчик, має свої особливості, які необхідно враховувати при його використанні. З'єднання формальних і неформальних методів і є специфікою управління складним об'єктом, що відображена в цій статті.

Процес створення управління в матеріалі розглянутий з алгоритмічної точки зору, незалежно від того, за допомогою яких обчислювальних засобів ці алгоритми будуть реалізовані (і чи будуть реалізовані взагалі). У цьому плані даний матеріал доповнюють посібники з проектування систем управління, у яких розглянуті способи і засоби реалізації алгоритмів управління на сучасній обчислювальній техніці. Поставлена мета — у доступній для дослідника формі розглянути етапи управління складним об'єктом.

Природно, що досягнути неосягну проблему управління складними об'єктами у восьми підрозділах неможливо. Тому розглянуті лише ті алгоритми, методи і підходи теорії і практики управління, що щонайкраще відбивають сучасні принципи управління складним об'єктом. При цьому очевидно, що якісь аспекти проблеми управління зовсім не розглянуті. Так, зовсім не представлені в матеріалі ієрархічні підходи до опису і управління складними об'єктами — так званий системний підхід, моделі АСУ і т.д. Напевне, основна тому причина — обмежений обсяг розділу.

Кожний з нас хоч раз у житті виступав у ролі керівника, і усіх нас хвилюють питання управління і їхні принципи. Саме тому відразу обмовляємось, що розглядатимемо управління об'єктами, поведження яких

вдається описати формально, тобто використовуючи математичний апарат і сучасні комп'ютери. І не будемо плутати таке управління з керівництвом, що являє собою управління поки неформалізованими об'єктами (наприклад, державою, колективом, особистістю і т.д.).

Управління — річ складна, тонка й важлива. Однак розмова про управління хочеться почати не зі складності, а простоти. За глибоким переконанням авторів, усі наукові принципи й ідеї завжди і скрізь (у тому числі й в області управління) прості у своїй основі. Але ця простота часом буває оманлива.

Шлях від складного до простого прямий і ясний: було складно, розібралися — стало просто і ясно. Та є й інший шлях. Він зв'язаний, як правило, із застосуванням формального підходу, тобто з використанням математичного апарата. Не будемо втрачати часу на з'ясування того, навіщо потрібний формальний підхід. Просто без нього дуже часто не можна ефективно вирішити поставлену задачу, особливо в області управління. У будь-якому випадку формальний підхід дозволяє використовувати комп'ютери. Формалізм потрібний, і без нього не обійтись, особливо тоді, коли ми хочемо перекласти труднощі вирішення задачі на комп'ютер. Це гостро відчувається при вирішенні задач управління складними системами: усе тут настільки заплутане й складне, що думка про залучення комп'ютера для «розплутування» цієї складності здається рятівною. Але саме тут і починається ускладнення й без того складної задачі, тобто її формалізація.

Фахівці (нематематики) не люблять застосовувати цей підхід і звертаються до нього лише в крайньому випадку з багатьох причин. По-перше, у нетрях формалізму почувають себе добре тільки математики, а фахівцю-нематематику тут важко, тому що він спирається на змістовний (фізичний) зміст задачі, йому ж замість цього пропонують усілякі рівняння, алгоритми, перетворення і т.д. Але це ще не найстрашніше. Не розуміючи толком усіх математичних премудростей, фахівець, особливо якщо він не дуже твердо розуміє, чого ж він хоче, перестає вірити собі,

і, як кажуть, «математика тріумфує над здоровим глуздом». На жаль, ця ситуація не придумана автором, це аксіома.

Саме тому так важливо в процесі формалізації задачі та її вирішення формальними методами зберегти в недоторканності той самий рятівний здоровий глузд, що так цінується в неформальних підходах. А це під силу тільки фахівцеві, що розуміє можливості формального підходу і тверезо оцінює його сильні й слабкі сторони.

Немає формалізму «про будь-який випадок». Мене ж цікавить формалізм, необхідний для управління. Тут термін «управління» застосовується в самому широкому змісті: як сукупність дій, спрямованих на досягнення поставлених цілей. Під таке визначення, як легко бачити, підпадають у принципі всі розумні дії. Однак далеко не всі їх вдається формалізувати. Я в цьому розділі розглядаю лише формальні сторони управління, що дозволяють вирішувати задачу управління складним об'єктом за допомогою комп'ютера. В стороні залишаються соціальні, психологічні й інші гуманітарні аспекти управління, що впливають на деякі коефіцієнти рівнянь або приводять до появи деяких очевидних обмежень.

У даний час розроблені численні ефективні формальні методи синтезу управління, що спираються як на певні математичні моделі типу ідентифікації, планування експериментів, математичного програмування, так і на неформальні методи вирішення задач, реалізовані експертами. З'єднання цих двох методів – формального і неформального, дозволяє вирішувати найскладніші задачі управління і створює основу для управління складними об'єктами. Саме ця обставина характеризує процеси управління складними об'єктами і являє собою основний аспект даного матеріалу. Експертний підхід виявляється в більшій мірі на перших етапах управління, а формальний – на наступних.

Результати досліджень

Визначення об'єкта управління. Задача виділення об'єкта управління з середовища виникає після формулювання й опису множини цілей управління $\{Z^*\}$. Процес виділення об'єкта повинен закінчуватися визначенням границь об'єкта F^o (будемо позначати об'єкт його оператором F^o), які відокремлюють його від середовища, тобто таким описом цього об'єкта, що недвозначно зумовлює його границі [рис. 1]. У ряді випадків, коли границі об'єкта очевидні, такої проблеми не виникає. Це буває, коли об'єкт досить автономний (літак, корабель, будь-який прилад, автомашина тощо). Однак у випадку управління персоналом зв'язки об'єкта з середовищем настільки сильні й різноманітні, що часом дуже важко зрозуміти, де закінчується об'єкт і починається середовище. Саме такий випадок розглядається в даній роботі.

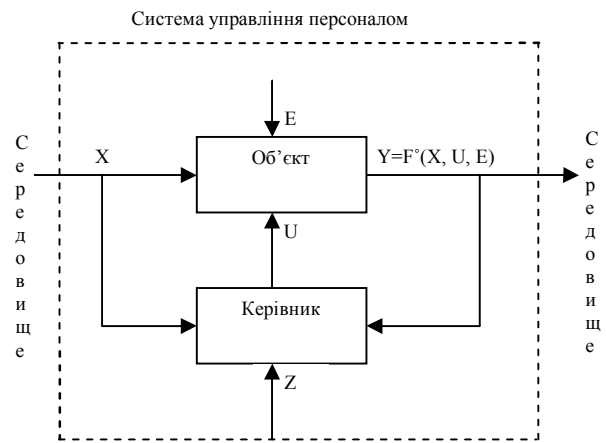


Рис. 1. Система управління персоналом

Визначення границі розподілу об'єкта управління та зовнішнього середовища. Природно, виникає питання, а чи важливо, де проводити границю розділу об'єкта і середовища. Якщо вона ніде явно не видна? Виявляється, важливо і навіть дуже. Проілюструємо сказане простим прикладом.

Нехай ми збираємося створити систему управління якимось технологічним процесом. Чи обмежуються рамки об'єкта тільки цим процесом? Відповісти на це запитання не можна, оскільки границі об'єкта управління залежать від цілей, яким повинен задовольняти зазначений процес і його продукція. Якщо цілі досить чіткі (наприклад, досягнення певної якості чи ритмічності роботи), то неминуче доводиться керувати не тільки самим процесом, але і його входом, тобто сировиною, що переробляється її ході цього процесу. Це означає, що її об'єкт управління ми повинні включити й постачальника сировини. А в деяких випадках керувати доводиться і сировиною, що надходить до постачальника (відмітимо, що необхідність у такому управлінні стала однією з причин створення об'єднань, фірм тощо, які мають можливість керувати виробництвом на всіх стадіях).

Але не можна впадати й в іншу крайність, тобто намагатися керувати «всім і вся», хоча формальні підстави для цього завжди знайдуться, тому що зв'язки різних процесів і явищ можна простежити досить далеко. Існує, однак, певний оптимум «розмірів» об'єкта. Якби ми мали у своєму розпорядженні формальний (математичний) опис середовища, і о процес виділення і цього об'єкта принципово не становив би труднощів. Дійсно, «підсікаючи» різноманітні «шматки» середовища й називаючи їх різними варіантами об'єкта, ми завжди могли б формально перевірити, чи досягають задані цілі управління в цьому варіанті об'єкта чи ні. Повторюючи цю процедуру для різних версій відсічення, ми зупинилися б на тім варіанті об'єкта, який дозволяє отримати максимальну (бажано повну) керуваність.

Однак такий підхід при управлінні персоналом неприйнятний, оскільки відсутній формальний опис

середовища системи управління персоналом. Тому можливе використання в цьому випадку метода експертних оцінок.

Під експертом ми будемо розуміти особу, чим думка з питання, що нас цікавить, може бути більш авторитетною, ніж наша. В іншому випадку до зазначеної особи не має сенсу звертатися як до експерта. Очевидно, що експерт з питання визначення об'єкта повинен:

- знати середовище, з якого виділяється об'єкт.
- знати цілі управління,
- мати уявлення про можливості і засоби управління.
- мати уявлення про способи збору й обробки інформації про середовище й об'єкт.

Експерти не просять визначати об'єкт. Його використовують як джерело інформації, необхідної для ухвалення рішення про те, що ж варто вважати об'єктом управління. Це рішення приймає розробник (проектувальник) системи управління. Експерту ж задають питання, відповіді на які містять необхідну інформацію.

Відбір експертів та визначення їх компетентності. Кваліфікацію кожного i -го експерта, тобто його компетентність в обговорюваному j -му питанні будемо оцінювати так званим коефіцієнтом компетентності:

$$0 \leq k_i^j \leq 1, \quad i = 1, \dots, N_j \quad (1)$$

де N_j – кількість експертів, що залучаються до вирішення j -го питання. При $k_i^j = 0$ i -й експерт визнається некомпетентним у j -му питанні, а при $k_i^j = 1$ цей експерт вважається цілком компетентним. Якщо ці коефіцієнти компетентності відомі, то відразу чітко визначається кількість експертів. Дійсно, експертів, чия компетентність, нижче граничної, тобто

$$k_i^j < \delta^j, \quad (2)$$

де δ^j – заданий поріг компетентності для вирішення j -го питання, можна не турбувати вирішенням цієї проблеми. Так з'ясується число N_j експертів, залучених до вирішення j -го питання (величина порога δ^j визначається проектувальником).

Коефіцієнти компенсації визначаються також експертно, тобто шляхом взаємної оцінки компетентностей самих експертів. Робиться це в такий спосіб. Кожний i -й експерт при вирішенні j -го питання оцінює компетентність всіх експертів (у тому числі й свою) за допомогою коефіцієнтів

$$0 \leq k_{il}^j \leq 1, \quad l = 1, \dots, N_j. \quad (3)$$

Тут k_{il}^j – думка i -го експерта про компетентність l -го експерта при вирішенні j -го питання (самооцінка компетентності i -го експерта в цьому питанні). Тепер неважко визначити коефіцієнт компетентності

l -го експерта як середню всіх оцінок, включаючи і його особисту:

$$k_l^j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} k_{il}^j, \quad l = 1, \dots, N_j. \quad (4)$$

Помітимо, що матриця взаємних оцінок (3) може містити прочерки, які означають, що оцінки немає (один експерт не знає, а тому не може оцінити іншого). У цьому випадку в формулі (4) усереднення ведеться за значущими оцінками, тобто виключаючи прочерки. Приклад такої матриці оцінки компетентності – табл. 1.

Таблиця 1

Матриця оцінки компетентності

i	l			
	1	2	3	4
1	-	0,6	0,8	0,9
2	0,9	-	0,6	1
3	0,8	0,8	-	0,8
4	0,7	0,4	0,7	-
k_l^j	0,8	0,6	0,7	0,9

Тут усі середні значення k_l^j оцінюються за трьома значущими оцінками, тобто $N_l = 3$.

Очевидно, що цей метод самооцінки експертів не враховує усякого роду складні взаємини, які можливі між експертами, як людьми. Цю обставину слід мати на увазі при аналізі матриць оцінок компетентності. Так, якщо один з експертів отримав дуже високий бал в одних і дуже низький в інших експертів, то швидше за все означає або особливості його характеру, або оригінальність мислення, що розділяються одними, але не приймаються іншими експертами.

Експертне вирішення питання щодо впливу факторів на систему.

Маючи значення коефіцієнтів компетентності (4), можна приступити до вирішення j -го питання.

Нехай проблема формулюється так: «Виходячи з умов (викладаються умови, де фігурує невідомий фактор W^j , що вирішує проблему), надайте Вашої думки про значення цього фактора одним числом $W^j = \dots$ Спасибі за експертизу!».

Отримавши від всіх експертів значення $W^j (i = 1, \dots, N_j)$ (тут можуть бути й відмови від експертизи через визнання власної некомпетентності в цьому питанні; експерти, що підмовилися, автоматично випадають з N_j), слід прийняти рішення про значення цього фактора. Це значення з урахуванням компетентності експертів природно визначити як середньозважене з вагами, рівними коефіцієнтам компетентності:

$$W^j = \left(\sum_{i=1}^{N_j} W_i^j k_i^j \right) / \sum_{i=1}^{N_j} k_i^j. \quad (5)$$

Як бачимо, думка кожного експерта зважується значенням його коефіцієнта компетентності. Тому думки малокомпетентних експертів автоматично враховуються в меншому ступені. Отже, експертів можна не відбирати за критерієм (4.2). Цей критерій дозволяє лише не турбувати експертів, чії думки несуттєві для вирішення j -го питання. Розкиданість думок експертів найпростіше визначити за допомогою оцінки дисперсії отриманих експертних оцінок:

$$D(W^j) = \frac{1}{N_j - 1} \sum_{i=1}^{N_j} \left(W_i^j - \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} W_i^j \right)^2. \quad (6)$$

Маленька величина цієї дисперсії свідчить про достатню однотайність і експертів.

Як бачимо, метод експертних оцінок дозволяє вирішувати формально нерозв'язні проблеми при управлінні персоналом. Враховуючи, що отримане рішення (приблизним, його можливо уточнювати, збільшуючи кількість експертів та враховуючи їхню компетентність).

Метод експертних оцінок застосовується для відокремлення об'єкт від середовища.

Керованість об'єкта в системі управління персоналом. Процедуру виділення об'єкта; середовища природно будувати так, щоб у тому об'єкті, що вийшов, реалізувалися цілі управління, тобто щоб ним можливо було б ефективно керувати в ситуаціях, які складаються в процесі управління.

Для цього визначимо “керованість персоналу”, як імовірність досягнення заданих цілей в різних ситуаціях. Введемо поняття “ситуація при управлінні персоналом”. Під цим поняттям будемо розуміти трійку

$$S = \{X, E, Z^*\}, \quad (7)$$

що визначає стан некерованих входів об'єкта й ту ціль, якої потрібно досягти. Усі ситуації, що зустрічаються в процесі керування даним об'єктом. Можна підрозділити на дві підмножини ситуацій — керованих, при яких задана мета Z^* завжди досягається, і некерованих, коли ця мета Z^* не досягається.

Позначимо $\{S\}$ – множину всіх можливих ситуацій S , які зустрічаються в процесі управління. Нехай $\{J_S\}$ підмножина ситуацій $\{S\}$, де об'єкт некерований. Тобто не всі цілі з $\{Z^*\}$ досягаються, а (J_S) – підмножина ситуацій, де об'єкт керований, тобто всі цілі з $\{Z^*\}$ досягаються. Таким чином,

$$\{J_S\} \cup \{J_{\bar{S}}\} = \{S\}. \quad (8)$$

Цей вираз означає: кожна ситуація S може або керованою, або некерованою.

Кожному елементу множини $\{S\}$, тобто кожній ситуації S поставимо у відповідність число $\rho = \rho(S)$, яке визначало б імовірність появи цієї ситуації S .

Якщо число елементів множини $\{S\}$ нескінченне, то під $\rho(S)$ слід розуміти щільність цієї ймовірності. У першому (дискретному) випадку

$$\sum_{i=1}^N \rho(S) dS = 1,$$

де N – загальне число ситуацій, що зустрічаються. В другому (неперервному) випадку

$$\int_{\{S\}} \rho(S) dS = 1, \quad (9)$$

де інтеграл береться з усієї множини $\{S\}$. Співвідношення (9) виражає ту обставину, що поза областю $\{S\}$ не можуть зустрітися реальні ситуації S .

Неперервний випадок більш зручний і узагальнює: дискретний, хоча для практичних цілей і необхідно повернутися до дискретного. Керованість об'єкта (імовірність того, що випадково обрана ситуація S керована) визначається як

$$P = \int_{\{J_S\}} \rho(S) dS, \quad (10)$$

де інтеграл береться за підмножиною керованих ситуацій $\{J_S\}$. Некерованість визначається аналогічно як інтеграл з $\{J_{\bar{S}}\}$ некерованих ситуацій:

$$\bar{P} = \int_{\{J_{\bar{S}}\}} \rho(S) dS. \quad (11)$$

З (8) і (9) випливає, що

$$P + \bar{P} = 1. \quad (12)$$

Якщо з двох розглянутих варіантів об'єктів один має більшу керованість, ніж інший, то саме цьому об'єкту за інших рівних умов варто віддавати перевагу перед іншим. Отже, задача вибору об'єкта зводиться до задачі визначенням його керованості P .

Об'єкт у системі управління персоналом. Об'єкт у системі управління персоналом абсолютно керований ($P = 1$) якщо кожна ситуація з $\{S\}$ керована, тобто ціль завжди досягається. Це означає, що для будь-якого контрольованого стану середовища $X \in \{X\}$, також для будь-якою неконтрольованого входу $E \in \{E\}$ і для будь-якої цілі $Z^* \in \{Z^*\}$ завжди знайдеться таке управління $U^* \in \{U\}_R$, яке переведе об'єкт у необхідний стан, тобто

$$Z = Z(X, U^*, E) = \Psi(F^\circ(X, U^*, E)) = Z^*, \quad (13)$$

де $\Psi(\circ)$ – перетворення простору станів об'єкта $\{Y\}$ у простір цілей $\{Z\}$, що був розглянутий в (15); Z — стан об'єкта в просторі цілей; $Z(\bullet, \bullet, \bullet)$ — функція, що характеризує залежність Z від X, U і E .

Для економного запису цього визначення зручніше скористатися так званими кванторами існування (\exists) і загальності (\forall). Тоді

$$\begin{aligned} \forall X \in \{X\}, \forall E \in \{E\}, \forall Z^* \in \{Z^*\}, \\ \exists U^* \in \{U\}_R : Z(X, U^*, E) = Z^*. \end{aligned} \quad (14)$$

Цеп на перший погляд складний вираз читається дуже просто: для будь-якою X , що належить множині $\{X\}$, що записується у виді $\forall X \in \{X\}$, будь-якого E , що належить множині $\{E\}$ (тобто $\forall E \in \{E\}$), і будь-якого Z^* , то належить множині $\{Z^*\}$ (тобто $\forall Z^* \in \{Z^*\}$), існує таке U^* , що належить множині $\{U\}_R$ (тобто $\exists U^* \in \{U\}_R$). при якому $Z = Z^*$, тобто ціль досягається.

Абсолютна керованість ($P = 1$) рідко зустрічається на практиці при управлінні складними об'єктами. Дійсно, для її забезпечення варто або значно звужувати множину цілей, або мані постійне середовище ($X = \text{const}$), або виділяти дуже великі ресурси R на управління. Як правило, абсолютно керовані або прості об'єкти (наприклад, системи автоматичного регулювання), або дуже відповідальні (наприклад, системи забезпечення життєздатності операторів в екстремальних умовах). Переважну більшість систем управління не можна віднести до цього типу. Тому варто розглянути поняття часткової чи відносної керованості. Будемо розрізняти причини некерованості. Для цього введемо типи некерованості в такий спосіб. X - некерованість пов'язана зі специфікою множини $\{X\}$, у якій знайшлося таке X , оці при будь-якому $E \in \{E\}$ не виявилось такого $U \in \{U\}_R$, при якому $Z = Z^*$, тобто будь-яка ціль не досягається. Визначимо X - некерованість формально:

$$J_{\bar{X}} : (\exists X \in \{X\}, \forall E \in \{E\}, \forall Z^* \in \{Z^*\});$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*.$$

Тут $J_{\bar{X}}$ - X - некерованість і використане заперечення квантора існування $\bar{\exists}$, що значить «не існує» (не знайдеться). Вираз (4.15) читається в такий спосіб: X - некерованість визначається як існування такого припустимого X , при якому для будь-яких припустимих E і Z^* не знайдеться такого припустимого U при якому ціль Z^* буде досягнута.

Наведемо приклад такої ситуації. Нехай X^* — фінанси, необхідні для нормального функціонування об'єкта. Годі при $X < X^*$, тобто при недостатнім фінансуванні об'єкт не буде працювати і не виконає покладених на нього цілей Z^* , незважаючи на всі зусилля U , розпочаті в рамках виділених ресурсів R .

E -некерованість вводиться аналогічно, як існування таких неконтрольованих станів середовища, в яких при будь-яких припустимих X не вдається досягти якої-небудь припустимої цілі:

$$J_{\bar{E}} : (\exists E \in \{E\}, \forall X \in \{X\}, \forall Z^* \in \{Z^*\});$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*.$$

Приклад. Нехай, E - утрата кваліфікації особою складу, яка призводить до зниження якості виконання завдань. Очевидно, що, починаючи з деякою рівня вірити кваліфікації зниження якості буде настільки значним, що не дозволить реалізувати

ти задані цілі навіть під час спеціальних заходів її, що проводяться, і рамках ресурсів R .

Z^* - некерованість характеризується наявністю таких припустимих цілей, які в інших припустимих умовах ніколи не досягаються:

$$J_{\bar{Z}} : (\exists Z^* \in \{Z^*\}, \forall X \in \{X\}, \forall E \in \{E\});$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*.$$

Це означає, що існують припустимі цілі, що досяжні не в усіх станах середовища. Наприклад, мета перевиконання плану не реалізується при нерегулярних постачаннях (X) чи аварійних ситуаціях (E), які допускають виконання плану.

На рис. 2 для ілюстрації показано кілька випадків некерованості в просторі станів $\{S\} = (X, E, Z^*)$. Жирними відрізками позначені зони некерованості, що породжують області некерованості $J_{\bar{X}}, J_{\bar{E}}, J_{\bar{Z}}$. Як видно, ці зони можуть перетинатися (рис. 2 б, в).

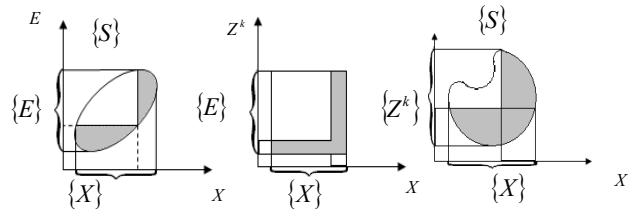


Рис. 2. Зони некерованості об'єкта, викликані факторами X і E (а і б) і факторами Z^* (в)

Тепер розглянемо перехресні некерованості, тобто такі, котрі залежать відразу від двох чи трьох факторів X, E, Z^* , які визначають успіх управління: XE -некерованість визначається як одночасне існування таких X і E при яких не всяка мета досяжна:

$$J_{XE} : (\exists(X, E) : \forall Z^*,$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*).$$

Наприклад, одночасне зниження якості сировини (X) і амортизація обладнання (E) ставлять звичайно під загрозу виконання плану, хоча кожен з цих факторів зокрема може бути здоланий відповідним управлінням U .

Тут і далі для скорочення запису передбачається, що $X \in \{X\}, E \in \{E\}, Z^* \in \{Z^*\}, U \in \{U\}_R$.

XZ^* - некерованість визначається аналогічно:

$$J_{XZ^*} : (\exists(X, Z^*) : \forall E,$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*);$$

некерованість:

$$J_{Z^*E} : (\exists(X, Z^*), \forall X;$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*);$$

і, нарешті, XE^* -некерованість:

$$J_{XEZ^*} : (\exists E \in (X, U, E);$$

$$\bar{\exists} U \in \{U\}_R : Z(X, U, E) = Z^*).$$

На рис. 3 зони некерованості такого виду заштриховані. Як видно, вони включають і зони, розглянуті на рис. 2. Однак не слід плутати області некерованості такого виду з перетинанням областей X-, P- і Z*-некерованості, показаних на рис. 2, б і в.

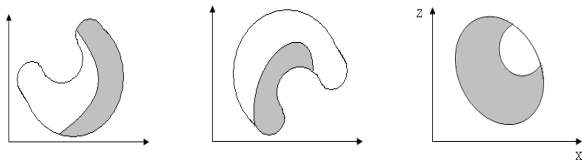


Рис. 3. Зони некерованості об'єкта, викликані парними взаємодіями факторів X, E, і Z*

Якби за допомогою експертів удалось оцінити зустрічність (імовірність появи) усіх зазначених видів некерованості, то процес визначення керованості об'єкта звівся б до обчислення суми:

$$P = 1 - \sum_{i=1}^7 p_i, \quad (22)$$

де p_i – ймовірність появи i -го виду некерованості (всього їх 7). Маючи такий алгоритм, можна з певної кінцевої множини об'єктів – претендентів вибрати один, найбільш керований. Тепер знову звернемося до експертів, вони нам потрібні для оцінок величин p_i , ($i=1, \dots, 7$), що входить в оцінку керованості (22).

Експертний метод оцінки керованості об'єкта. Отже, потрібно сформулювати питання відібраним N експертам таким чином, щоб їхні відповіді дозволили прийняти найбільш достовірне рішення про керованість об'єкта в запропонованих межах. Для цього, насамперед, необхідно створити кінцеве число альтернатив –

Варіантів об'єкта $F^{\circ}_1, \dots, F^{\circ}_q$ тобто описань:

$$Y = F^{\circ}_v(X_v, U_v, E_v), \quad v = 1, \dots, q, \quad (23)$$

де X_v, U_v, E_v – відповідно входи, що спостерігаються, керовані входи і такі, що не спостерігаються входи v -го варіанту об'єкта. Створення варіантів (23) робиться, виходячи з попереднього аналізу середовища й цілей.

Таким чином, задача визначення об'єкта зводиться до вибору однієї з альтернатив (23). Вихідна інформація для цього вибору міститься у відповідях експертів на питання, за допомогою яких визначається керованість кожного варіанту об'єкта (23). Будемо задавати експертам такі питання, щоб з їхніх відповідей визначити ймовірність кожною виду некерованості. Для цього виявимо ситуації Я, при яких цілі не досягаються, тобто об'єкт некерований. Ці ситуації природно класифікувати за видами некерованостей.

Експертиза проходить у декілька етапів. Спочатку експерти виявляють і описують некеровані ситуації. Потім складається повний перелік таких ситуацій. Об'єднаних за видом некерованості. Цей перелік про-

понує експертам для оцінки ймовірності кожної ситуації. Якщо ці оцінки не надто різняться, то вони приймаються для обчислення керованості об'єкта. Однак при великому різноб'ї експертів надається можливість змінити свою оцінку з огляду на оцінки інших експертів зі спірних ситуацій. Це робиться доти, доки оцінки перестануть, надто відрізнятися. За результатами цих оцінок визначається керованість.

Розглянемо кожний етап окремо.

Етап 1. Отже, на першому етапі кожному експерту пропонується описати всі некеровані ситуації за кожним видом некерованості:

$$J_X : (S^1_1, \dots, S^1_n), \dots, J_{XEZ} : (S^7_1, \dots, S^7_n), \quad (24)$$

де S^j_i – j -та некерована ситуація i -го виду некерованості. Очевидно, в кожного експерта буде свій набір таких ситуацій. Ці ситуації об'єднуються в загальний список керованих ситуацій. Він має той же вид, що і (24), але з іншими числами l_1, \dots, l_7 .

При складанні цього списку слід стежити, щоб ситуації в списку не повторювалися. Це необхідно, оскільки, наприклад, ситуації з J_{XE} можна сплутати із ситуаціями, що одночасно належать J_X і J_E (порівняйте перетин областей на мал. 2, б і в і 3, а і б).

Етап 2. Далі кожному експерту пропонується повний список усіх некерованих ситуацій

$$S_1, \dots, S_n \quad (25)$$

без урахування приналежності ситуації до виду некерованості (це треба було лише для виявлення ситуацій (4.25) експертами). Кожний j -й експерт кожної ситуації S_i , приписує число

$$0 \leq g^j_i; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N, \quad (26)$$

що характеризує, на його думку, оцінку ймовірності появи такої ситуації в процесі управління цим об'єктом. При цьому

$$\sum_{i=1}^n g^j_i \leq 1, j = 1, \dots, N.$$

Помітимо, що сума

$$\bar{P}_j = \sum_{i=1}^n g^j_i, j = 1, \dots, N. \quad (27)$$

є думкою j -го експерта про некерованість об'єкта.

Етап 3. Перевіряємо узгодженість експертів. Оцінити цю погодженість можна за дисперсіями індивідуальних оцінок різних ситуацій:

$$D_i = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \left(g^j_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g^j_i \right)^2, \quad i=1, \dots, n. \quad (28)$$

Якщо знайдуться такі ситуації S_i , про ймовірність появи яких думки експертів занадто розходяться, тобто

$$D_i > \delta, i = 1, \dots, n, \quad (29)$$

де $\delta > 0$ — деякий заданий поріг, то за цими ситуаціями експертам пропонується переглянути чи підтвердити свою оцінку з урахуванням думок інших

експертів (ці ситуації й думки всіх експертів за цими ситуаціями повідомляються). Процедура повторюється доти, доки не виконається умова

$$D_i \leq \delta, i = 1, \dots, n$$

Етап 4. Визначаємо середню некерованість даного варіанта об'єкта. Експертна оцінка некерованості об'єкта має вигляд:

$$P = \left(\sum_{j=1}^N k_j \bar{P}_j \right) / \sum_{j=1}^N k_j, \quad (30)$$

де k_j – компетентність j -го експерта (5), а P_j – оцінка некерованості об'єкта j -м експертом (27).

Етап 5. Знаходимо найкращий варіант об'єкта. Отримавши подібні експертні оцінки для всіх q варіантів (23) об'єкт, знайдемо оцінки їхньої некерованості P_1, \dots, P_q . Найкращий варіант об'єкта той, котрий має мінімальну некерованість. Якщо

$$\bar{P}_1 = \min_{v=1, \dots, q} P_v,$$

то 1-й варіант об'єкта i варто вважати оптимальним, тобто $F^* = F^*_1$.

На завершення необхідно відмітити, що при такому підході слід враховувати дисперсію оцінок ймовірностей $P_v (v=1, \dots, q)$

Висновок

Запропонований підхід до управління складними динамічними системами на основі використання експертів дозволяє без використання складних математичних моделей синтезувати (визначити) найкращий варіант системи або об'єкта керування. Якщо кілька варіантів об'єкта виявляються такими що статистично не відрізняються, то варто або збільшити число експертів або повідомити їм додаткову інформацію про середовищі, цілі та ресурси, або ввести додаткові критерії оцінки варіантів об'єкта. та якими можна здійснити однозначний вибір.

Список літератури

1. Машков О.А. Шляхи створення та дослідження функціонально-стійкої моделі вимірювально-обчислювального комплексу / О.А. Машков, В.О. Чумакевич, В.А. Шуренок // Збірник наукових праць ІПМЕ „Моделювання та інформаційні технології”. – К., 2003. – Вип. 24. – С. 40-47.

2. Машков О.А. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем / О.А. Машков, О.В. Барабаш // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ, 2003. – Вип. 25. – С. 29-35.

3. Метод багатокритеріального вибору оптимального варіанта системи радіонавігаційного забезпечення / [Машков О.А., Кравченко Ю.В., Савченко В.А., Власенко Г.М.] // Збірник наукових праць ІПМЕ „Моделювання та інформаційні технології” – К., 2003. – Вип. 22. – С. 37-41.

4. Машков О.А. Возможности обеспечения функциональной устойчивости эргатических систем управления в рамках существующего методического аппарата / О.А. Машков, О.А. Кононов // Збірник наук. праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці. Вип. 32. – К., 2006. – С. 151-157.

5. Разработка моделей нештатных ситуаций в автоматизированной системе поддержки принятия решений при управлении подвижным объектом / [Машков О.А., Дурняк Б.В., Усаченко Л.М., Сабат В.И.] Моделювання та інформаційні технології / Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України. Вип. 48. – К., 2008. – С. 3-24.

6. Методология обеспечения функциональной стійкості ієрархічних організаційних систем управління / [Машков О.А., Дурняк Б.В., Усаченко Л.М., Сабат В.И.] // Збірник наукових праць: Інститут проблем моделювання в енергетиці, НАН України. Вип. 48. – К., 2008. – С. 3-21.

7. Машков О.А. Прийняття управлінських рішень в складних організаційних системах з погляду системного підходу (частина 1) (вступ) / О.А. Машков, В.Р. Косенко // Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 55. – К., 2010. – С. 131-148.

8. Машков О.А. Прийняття управлінських рішень в складних організаційних системах з погляду системного підходу (част. 2) (принципи організаційного управління) / О.А. Машков // Збірник наукових праць / моделювання та інформаційні технології / Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 55. – 2010. – С. 119-132.

9. Машков О.А. Прийняття управлінських рішень в складних організаційних системах з погляду системного підходу (частина 3) (системні функції організаційного управління) // О.А. Машков, В.Р. Косенко // Збірник наукових праць / моделювання та інформаційні технології / Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, Вип. 56. К., 2010. – С. 115-132.

10. Машков О.А. Прийняття управлінських рішень в складних організаційних системах з погляду системного підходу (частина 4) (системний підхід в організації управління) // О.А. Машков, В.Р. Косенко // Збірник наукових праць / Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 54. – К., 2010. – С. 114-133.

Надійшла до редколегії 18.09.2015

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

ПРИМЕНЕНИЕ НЕФОРМАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ СЛОЖНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

О.А. Машков, Аль-Тамими Рахим Касим Насер, Лами Диа Джухи Хуссейн, В.Р. Косенко

Статья посвящена вопросам управления сложными динамическими системами на основе использования экспертов, что позволяет без использования сложных математических моделей синтезировать (определить) лучший вариант системы или объекта управления.

Ключевые слова: управление, динамическая система, модель, эксперт, оценка, сложная система управления.

APPLICATION INFORMAL APPROACH TO MANAGING COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

O.A. Mashkov, Al-Tameemi Raheem Qasim Naser, Lami Dheyaa Juhi Hussein, V.R. Kosenko

This article is devoted to the management of complex dynamic systems through the use of experts, which allows the use of complex mathematical models to synthesize (determine) the best option system or facility management.

Keywords: management, dynamic system model, expert evaluation, complex control system.

УДК 629.7.058.53

В.В. Печенин, К.А. Щербина, М.А. Вонсович, Е.П. Мсаллам

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНО-ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ, СОВМЕЩЕННОЙ С ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СХЕМОЙ СПЕКТРА ВХОДНОГО СИГНАЛА

В работе представлены результаты исследований, связанные с дальнейшим совершенствованием комбинированных систем фазовой автоподстройки частоты объекта управления – синхронизированного генератора. Основная цель выполненных исследований состояла в разработке структуры комбинированной системы ЧФАПЧ с расширенным составом количественного набора показателей качества работы системы, наилучших по своим значениям и совместным выделениям и обработкой спектра входного ЧМ-сигнала, наблюдаемого на фоне аддитивной гауссовской помехи.

Ключевые слова: *следающий доплеровский фильтр, фильтрация, показатели качества, следающий прием, частота.*

Введение

Системы частотно-фазовой автоподстройки частоты (ЧФАПЧ) являются сложными следающими системами автоматической подстройки частоты управляемого объекта – генератора, в дальнейшем подстраиваемого генератора (ПГ).

К ним относятся астатические и поисковые системы ЧФАПЧ, комбинированные системы с нелинейными цепями управления ПГ, следающие системы ЧФАПЧ с инерциально-нелинейными и переменными параметрами цепей управления перестраиваемым генератором [1,2,3] и т.д.

Функциональная структура системы ЧФАПЧ предусматривает наличие двух каналов управления ПГ в цепи обратной связи; частотного канала (ЧАП), обеспечивающего поиск и захват фильтруемой частоты в заранее известных пределах ее изменения и канала фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), обеспечивающего точную подстройку частоты ПГ. При этом воздействие управляющих напряжений осуществляется технически на один управляющий элемент ПГ, например варикап [4].

В процессе совершенствования существующих систем ЧФАПЧ канал управления ПГ по частоте был вынесен за пределы цепи обратной связи, что позволило повысить быстродействие системы в целом, за счет увеличения порядка астатизма системы ФАПЧ [5,6]. Однако в данном случае фильтрующие свойства, т.е. помехоустойчивость, будут ухудшены по сравнению с оптимальными для канала ФАПЧ.

Существует и другое направление дальнейшего развития и совершенствования следающих систем ЧФАПЧ, основанное на использовании в качестве управляемого объекта ПГ генератора, синхронизированного входным сигналом [7]. Таким образом, ПГ заменяется на синхронизированный генератор (СГ). Известно, что СГ в «захваченном» режиме

является системой ФАПЧ, в которой отсутствует в явном виде фазовый детектор и фильтр низких частот (ФНЧ), которые являются основными элементами, ухудшающими быстродействие, динамические и флуктуационные характеристики обычной системы ФАПЧ с фазовым детектором и ФНЧ входящих в замкнутый контур управления ПГ.

Ряд схем, реализуемых на основе применения СГ, обеспечивающих следующую фильтрацию медленно меняющейся несущей ЧМ-сигнала рассмотрены в [8,9]. Они обеспечивают достаточно хорошие показатели работы ЧФАПЧ по сравнению с существующими, однако их фазовая стабильность оказывается низкой.

Как правило, существующие схемы ЧФАПЧ перестраиваемым или синхронизированным генераторами отслеживают несущую частотно-модулированного входного сигнала, наблюдаемого на фоне аддитивной нормальной помехи.

Однако в системах связи, системах автономной навигации и других радиотехнических системах по условиям их функционирования необходимо выделять полезную информацию, содержащуюся в спектре входного сигнала [10]. В связи с этим необходимо в процессе слежения схемой ЧФАПЧ помимо фильтрации изменяющейся несущей входного сигнала, выделять его спектр. При этом необходимо обеспечивать слежение за его изменяющимися параметрами и, в частности, за изменениями его ширины.

Таким образом всё выше изложенное предопределило цель выполненных в работе исследований, которую можно сформулировать следующим образом. Она состоит в разработке структуры комбинированной системы ЧФАПЧ с расширенным составом количественного набора показателей качества работы системы, наилучших по своим значениям и совместным выделениям и обработкой спектра входного ЧМ-сигнала, наблюдаемого на фоне аддитивной гауссовской помехи.

Содержание исследований

На вход следящей системы ЧФАП поступает ЧМ-сигнал, формулируемый протяженной отражающей поверхностью при ее зондировании источником непрерывных колебаний, находящимся на борту воздушного судна (самолета, вертолета и т.д.), движущегося с воздушной путевой скоростью W_{Π} . Модель принимаемого сигнала можно представить в виде [11]

$$S_i \left[t, \lambda_a(t), \lambda_{\text{ч}}(t), \omega_0, F_{\text{Д}i} \right] = \sqrt{2}U_0 [1 + M_a \lambda_a(t)] \times \sin \left[(\omega_0 + F_{\text{Д}})t + M_{\text{ч}} \int_0^t \lambda_{\text{ч}}(\tau) d\tau + \varphi(t) \right]. \quad (1)$$

Здесь U_0, ω_0 - амплитуда и частота принимаемого сигнала; $F_{\text{Д}i} = \frac{2W_{\Pi}}{\lambda} \cos \beta_i$ - доплеровское смещение; β_i - наклон диаграммы направленности излучения ($i = 1 \dots 4$); i - число облучающих направлений; $\lambda_a(t), \lambda_{\text{ч}}(t)$ - случайные функции описывающие флуктуации амплитуды и частоты соответственно, порождаемые радиофизической структурой (светящиеся точки) подстилающей поверхности; $M_a, M_{\text{ч}}$ - индексы амплитудной и частотной модуляции; $M_{\text{ч}} \int_0^t \lambda_{\text{ч}}(t) dt$ - случайный спектр доплеровского сигнала $\Delta F_{\text{Д}i} = (2W_{\Pi}/\lambda) \cdot \sin \beta_i \Delta \beta_i$, $\Delta \beta_i$ - ширина i -ой диаграммы облучения.

В дальнейшем будем считать, что параметры диаграмм излучения одинаковы, то есть индекс i можно опустить.

Необходимо синтезировать функциональную схему такой следящей системы ЧФАПЧ, которая бы обеспечивала требуемые или максимальные количества показателей и качество работы при заданном или максимальном их числе, совмещенной с выделением и обработкой спектра входного сигнала.

Структурный синтез комбинированной системы ЧФАПЧ

Синтезируем структурно-физическую модель ЧФАПЧ на основе использования ФАПЧ 1-го порядка с интегрирующим фильтром в цепи обратной связи и комбинированной системы ЧФАПЧ на синхронизированном генераторе с внешним каналом перестройки его частоты.

Выберем в качестве опорной структуры синтезируемой модели ЧФАПЧ взаимосвязанную двухпетлевую ЧФАПЧ, рассмотренную в [1].

Структурно-физическая модель (функциональная схема) двухпетлевой ЧФАПЧ с взаимными связями используемых следящих схем приведена на рис. 1.

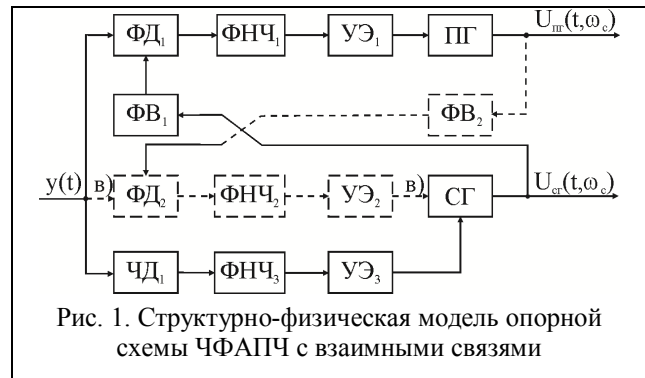


Рис. 1. Структурно-физическая модель опорной схемы ЧФАПЧ с взаимными связями

Здесь совокупность блоков: ФД₁ – фазовый детектор, ФНЧ₁ – фильтр нижних частот, УЭ₁ – управляющий элемент, ПГ – перестраиваемый генератор образуют схему астатической ФАПЧ первого порядка с интегрирующим RC фильтром ФНЧ₁; ФД₂ – фазовый детектор, ФНЧ₂ – фильтр нижних частот, УЭ₂ – управляющий элемент, СГ – синхронизированный генератор образуют схему ФАПЧ на «захваченном» СГ, при этом блоке обведенные пунктирной линией являются виртуальными т.е. в реальном «захваченном» СГ их нет, а точки (в) соединены, так что на синхронизирующий вход СГ поступает высокочастотное входное колебание $y(t) = S(t) + n(t)$, где $n(t)$ - нормальный гауссовский шум.

Совокупность блоков: ЧД₁ – частотный детектор, ФНЧ₃ – фильтр нижних частот, УЭ – управляющий элемент, образуют канал автоматической подстройки СГ по несущей входного сигнала. Постоянная времени ФНЧ₃ определяет временными изменениями несущей сигнала $S(t)$, т.е. фактически изменениями регулярного значения доплеровской частоты $F_{\text{Д}}$, которая в свою очередь зависит от изменения скорости воздушно-космического объекта.

Осуществим логическое замещение блоков с введением необходимых связей между блоками входящими в структурно-физическую модель опорной схемы ЧФАПЧ (рис. 1), удалив из синтезируемой структуры ЧФАПЧ виртуальные блоки. Синтезированная таким логическим приемом структурно-физическая модель синтезированной ЧФАПЧ представлена на рис. 2.

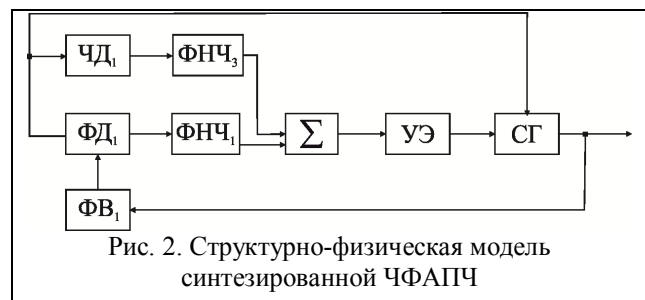


Рис. 2. Структурно-физическая модель синтезированной ЧФАПЧ

Из рассмотрения синтезированной схемы ЧФАПЧ, приведенной на рис. 2 видно, что она со-

стоит из 2 «взаимонезависимых» следящих систем. Первая из них представляет астатическую систему ФАПЧ – 1-го порядка (блоки ФД₁, ФНЧ₁, Σ, УЭ, СГ), а вторая (ЧД₁, ФНЧ₃, СГ) систему ЧФАПЧ с внешней автоматической перестройкой частоты синхронизируемого генератора. Обе схемы достаточно хорошо изучены [1,12].

Если выбрать параметры СГ так, чтобы полоса синхронизации ..равнялась полосе пропускания резонансного контура генератора .., которая бы перекрывала полосу изменения доплеровской частоты входного синхронизирующего сигнала, то блоки ЧД₁ и ФНЧ₃ можно исключить из схемы рис. 2. При данных условиях выбора параметров СГ получим дифференциальное уравнение исследуемой системы.

Если допустить что в отсутствие шума $u(t)$ изменения воздействующих на СГ по прямому каналу синхронизации и каналу следящей обратной связи являются медленными случайными жестко коррелированными процессами с временем корреляции τ_k много большим времени запаздывания τ_3 управляющего сигнала в цепи обратной связи, то можно записать дифференциальное уравнение по фазе (считая амплитуду входного сигнала постоянной величиной) в следующем виде

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \Delta_n - \Delta_1 \sin \varphi; \quad \frac{d\varphi_0}{dt} = \Delta_n - \Delta_0 \sin \varphi, \quad (2)$$

где Δ_n – начальная расстройка сигнала на входе; Δ_1 – полоса удержания системы ФАПЧ.

Тогда результирующее дифференциальное уравнения синхронизма колебаний СГ от прямого воздействия и воздействия петли обратной связи будет иметь вид:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Delta_n - (\Delta_0 + \Delta_1) \sin \varphi. \quad (3)$$

Если выполнено условие $\Delta = \Delta_0 + \Delta_1$, то дифференциальное уравнение (3) можно записать в виде

$$\frac{p\varphi}{\Delta} + [\sigma + \eta F(p)] \sin \varphi = \gamma, \quad (4)$$

где $\gamma = \left((\omega_{\Gamma_0} - \omega_c) / \Delta \right)$ – начальная расстройка, нормированная к суммарной полосе синхронизма; $\sigma = \frac{\Delta_0}{\Delta}$, $\eta = \frac{\Delta_1}{\Delta}$ – относительные полосы синхронизма внешнего воздействия и петли обратной связи соответственно; $F(p)$ – операторный коэффициент передачи петли обратной связи; $p \equiv \frac{d}{dt}$.

Отметим, что уравнение (4) эквивалентно системе ФАПЧ в которой сигнала с ФД₁ поступает к УЭ по двум каналам. Один из которых является безинерционным с ослаблением σ , а второй канал образуется фильтром ФНЧ₁ с передаточной функцией

$W_1(p)$ и ослаблением $\eta = 1 - \sigma$. За счет увеличения коэффициента передачи безинерционного канала имеет место суммарное расширение полосы захвата γ_3 эквивалентной ФАПЧ по сравнению с обычной ФАПЧ-1.

Покажем справедливость этого утверждения на примере ФАПЧ с простейшим интегрирующим фильтром, коэффициент передачи которого

$$W_1(p) = \frac{1}{T_\Phi p + 1}.$$

Введя затухание $2\lambda = \frac{1}{\sqrt{\Delta T_\Phi}}$ и дифференцируя по безразмерному времени $t_1 = \frac{t}{\sqrt{T_\Phi}}$ получим формулу (5)

$$\ddot{\varphi} + 2\lambda(1 + \Delta T_1 \cos \varphi)\dot{\varphi} - \sin \varphi = \gamma, \quad (5)$$

где $\ddot{\varphi}$ – двойное дифференцирование φ .

Это уравнение в точности совпадает с уравнением ФАПЧ с пропорционально интегрирующим фильтром [1] коэффициент передачи которого равен

$$W(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_\Phi p + 1}, \quad (6)$$

где $T_1 = \sigma T_\Phi$ – величина, пропорциональная глубине внешнего воздействия σ .

Такое совпадение связано с тем, что пропорционально-интегрирующий фильтр можно представить в виде параллельно соединенных безинерционной ветви с ослаблением $\sigma = \frac{T_1}{T_\Phi}$ и интегрирующей ветви с ослаблением $(1 - \sigma)$.

Для относительной полосы захвата $\gamma_3 = \frac{\gamma}{\Delta_1}$ эквивалентной ФАПЧ с пропорционально-интегрирующим фильтром справедливо выражение

$$\gamma_3 = \sqrt{\sigma(2 - \sigma)}. \quad (7)$$

Приведем некоторые расчетные соотношения для оценки рабочих показателей качества синтезированной структурно-физической модели ЧФАПЧ, заимствованные [1, 8] при ее применении в качестве следящего доплеровского фильтра в полосе синхронизации $\Delta \geq (F_{D_{\max}} - F_{D_{\min}})$ при $\Delta_{CH} \leq \Delta_0$ и величине расстройки $\Delta = (\omega_c - \omega_{CG}) \ll \Delta_n$ относительно СГ без принудительной перестройки.

1. Флуктуационные погрешности.

Дисперсия фазовых флуктуаций на выходе контура ФАПЧ (рис.2)

$$\sigma_\varphi^2 = \frac{2N_0}{U_0^2} \Delta F_{\text{ш}} = \frac{1}{q^2}, \quad (8)$$

где $\Delta F_{III} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |Y(j\omega)|^2 d\omega$ - эффективная шумовая

полоса ФАПЧ, Гц; $q = \frac{U_0^2}{N_0 \Delta F_{III}}$ - отношение

сигнал/шум на выходе контура ФАПЧ; N_0 - спектральная плотность мощности шума Вт/Гц²; $|Y(j\omega)|$ - модуль частотной характеристики цепи ФАПЧ.

$$\sigma_{\omega}^2 = \frac{\Omega_y^2}{2\Delta F_{III} \cdot T_1} \cdot \frac{1}{q^2}, \quad (9)$$

где Ω_y - полоса удержания системы ФАПЧ, T_1 - постоянная времени пропорционально-интегрирующего фильтра.

2. Динамические погрешности.

$\theta_{1_{уст}}(t) = 0$ при линейном изменении фазы $\varphi = \alpha_1 t$.

$$\theta_{2_{уст}}(t) = \frac{2\tau_{СГ}\alpha_2}{K_y} \text{ при квадратичном законе}$$

изменения фазы $\varphi = \alpha_2 t^2$, где $K_y = \frac{U_{СГ}}{U_0}$, $\tau_{СГ}$ -

постоянная времени СГ $\tau_{СГ} \approx \frac{3,5}{\Delta f_k}$.

3. Время установления синхронизированных колебаний управляемого СГ.

$$\tau_{уст} = \frac{1}{\sqrt{\Delta_0^2 - (\Delta_n + \frac{\omega_c}{2} g_c(t))^2}}, \quad (9)$$

где $g_c(t) = \delta c(t)$ - изменения (скачок) емкости подстраиваемого контура синхронизированного генератора.

Структурный синтез фильтрующей схемы спектра входного сигнала

Флуктуационная погрешность измерения путевой скорости определяются при ширине спектра доплеровской частоты $\Delta F_D = \text{const}$ следующим отношением:

$$\frac{\sigma_f W_x}{W_x} = \frac{k_0}{\sqrt{2} F_D} \sqrt{\Delta F_D \Delta F_{\Phi}}, \quad (10)$$

где k_0 - параметр, зависящий от отношения сигнал/шум и схемы построения измерителя частоты (дискриминатора), ΔF_{Φ} - ширина полосы ФНЧ фильтра на выходе частотного дискриминатора, W_x - горизонтальная составляющая W_{II} по координате x .

Однако в процессе движения воздушно-космического объекта (летательного аппарата) скорость его движения может изменяться, а следовательно будут меняться $F_D \neq \text{const}$, $\Delta F_D \neq \text{const}$ что приведет к ухудшению помехоустойчивости фильтрующей схемы спектра с фиксированными параметрами [13].

Необходимо синтезировать схему фильтрации спектра входного доплеровского сигнала с перестраиваемыми параметрами. Если используется гетеродинный метод построения следящего доплеровского фильтра, то достаточно перестраивать его полосу пропускания ΔF_{Φ} , согласовывая ее с изменениями полосы ΔF_D [14].

При использовании синхронизированного генератора необходимо перестраивать в автоматическом режиме и центральную частоту и полосу контура, выделяющего спектр. В ряде случаев возможно применение модулированного фильтра МФ [15], с помощью которого возможно обрабатывать доплеровский спектр.

Функциональная схема узкополосного фильтра с перестраиваемой полосой, согласованной с изменяющейся шириной ΔF_D приведена на рис. 3.

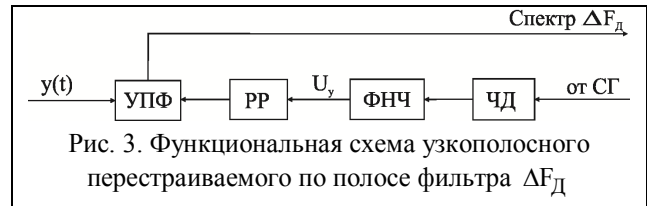


Рис. 3. Функциональная схема узкополосного перестраиваемого по полосе фильтра ΔF_D

Здесь УПФ – узкополосный перестраиваемый по полосе фильтр. РР – регулируемый резистор, ФНЧ – фильтр нижних частот, ЧД – частотный дискриминатор.

Сущность процесса регулирования полосы УПФ состоит в изменении добротности контура. При введении регулируемого резистора добротность контура будет равна

$$Q(U_y) = \frac{R_{\Sigma}}{r}, \quad (11)$$

где R_{Σ} - суммарное сопротивление

$R_{\Sigma} = \frac{\rho_k R_{RR}}{\rho_k + R_{RR}}$, ρ_k - резонансное сопротивление контура, r - активное сопротивление провода катушки L контура.

Регулируемая полоса пропускания УПФ определяется соотношением

$$\Delta f_0(U_y) = f_0 Q^{-1}(U_y). \quad (12)$$

Приведем результаты анализа помехоустойчивости следящего доплеровского измерителя скорости

сти (ДИС), при використанні УПФ с перестраиваємою полосой в сравнении с применяемыми в настоящее время УПФ с фиксированной полосой пропускания, согласованной только в 1 точке с $F_D = \text{const}$ и $\Delta F_D = \text{const}$.

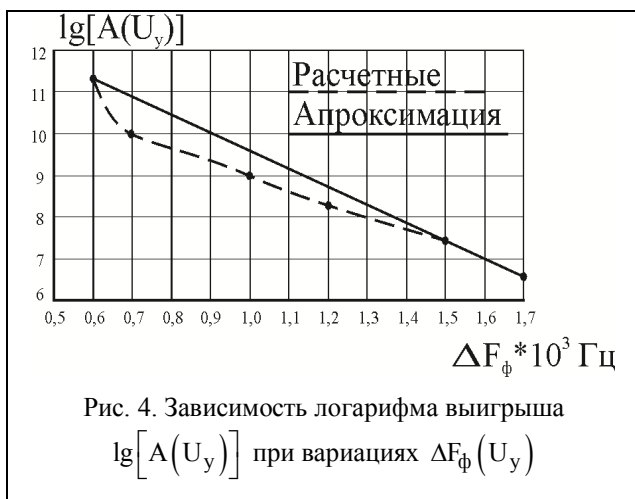
В качестве конкретного измерителя частоты F_D^* (среднее) использован счетчик нулей с интегратором (накопительной емкостью) [13].

Энергетический выигрыш схемы УПФ с регулируемой полосой по сравнению с неследящим измерителем-счетчиком нулей можно вычислить по формуле

$$\lg[A(U_y)] = 10 \lg \left[\frac{\Delta F_{\text{ш}}}{\Delta F_{\text{ф}}(U_y)} \right] + 10 \lg \left[\frac{F_{\text{ш}}^2}{F_{\text{Д.ск}}^2} - 1 / \left(\frac{(F_{\text{Д.ск}} + \Delta F_{\text{с}})^2}{F_{\text{Д.ск}}^2} - 1 \right) \right], \quad (13)$$

где $F_{\text{ш}}$ - полоса шумов, $\Delta F_{\text{с}}$ - допустимое максимальное расхождение между среднеквадратическими частотами сигнала и шума на выходе УПФ, индекс ск - среднеквадратическое значение.

Зависимость логарифма выигрыша (13) при вариациях $\Delta F_{\text{ф}}(U_y)$ от $0,5 \div 1,8$ кГц и $\Delta F_{\text{ш}} = 8$ кГц, $\Delta F_{\text{Д.ск}} = 5$ кГц, $\Delta F_{\text{с}} = 0,15$ кГц, $F_{\text{ш.ск}} = 8$ кГц, $c = 14,4$ дБ - расчетное значение второго слагаемого в формуле (13), равное постоянной величине при заданных значениях входящих в нее величин, приведена на рис. 4.

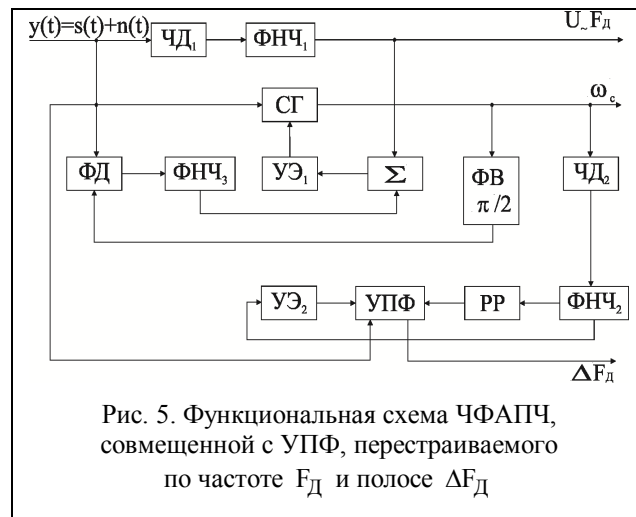


Из приведенной на рис. 4 графической зависимости следует, что при выбранных значениях параметров входящих в (13) логарифм выигрыша с учетом константы c меняется в пределах $20 \div 25$ дБ и при $\Delta F_{\text{ф}}$ составляет примерно $(11 \div 14,4)$ дБ, т.е. увеличение выигрыша составляет 5 дБ.

Функциональная схема синтезированной структуры ЧФАПЧ совмещенной с фильтрующей схемой спектра входного сигнала приведена на рис. 5.

Подключение УПФ к выходу СГ обеспечивает улучшению точности установки резонансной частоты УПФ (тракт ЧД₂, ФНЧ₂, УЭ₂).

Остальные блоки, входящие в функциональную схему рис. 5 полностью идентичны блокам, входящим в схемы, изображенные на рис. 2 и 4.



Заключение

В настоящей работе представлены результаты исследований в основном теоретического направления, связанные с дальнейшим совершенствованием комбинированных систем фазовой автоподстройки частоты объекта управления – синхронизированного генератора.

Основная цель выполненных исследований состояла в разработке структуры комбинированной системы ЧФАПЧ с расширенным составом количественного набора показателей качества работы системы, наилучших по своим значениям и совместным выделениям и обработке спектра входного ЧМ-сигнала, наблюдаемого на фоне аддитивной гауссовской помехи.

Анализ существующих систем ЧФАПЧ с внешней автоматической перестройкой частоты синхронизируемого генератора и астатической системы ФАПЧ первого порядка с интегрирующей цепочкой в кольце следящей обратной связи показал, что возможно синтезировать такую систему ЧФАПЧ, реализующую наилучшие показатели качества работы каждой из рассмотренных систем фазовой автоподстройки.

В работе получены удобные для практического использования расчетные формулы оценки погрешности, быстродействия и устойчивости регулирования, основанные на ранее известных аналитических результатах в области статистической теории связи,

автоматического регулирования и управления высокой точности. При этом величина выигрыша для синтезированной схемы с учетом константы составит 5 дБ.

Список литературы

1. Шахгильдян, В.В. Фазовая автоподстройка частоты [Текст] / В.В. Шахгильдян, А.А. Ляховкин. - М.: Связь, 1966. - 440 с.
2. Стеклов, В.К. Комбинированные системы фазовой автоподстройки [Текст]: моногр. / В.К. Стеклов, А.А. Руденко, А.К. Юдин. - К.: Техніка, 2004. - 327 с.
3. Стеклов, В.К. Системы фазовой автоподстройки частоты с дифференциальными связями [Текст] / В.К. Стеклов, С.Н. Скляренко, Б.Я. Костик. - К.: Техніка, 2003. - 327 с.
4. Тузов, Г.И. Выделение и обработка информации в доплеровских системах [Текст] / Г.И. Тузов. - М.: Советское радио, 1967. - 225 с.
5. Зайцев, Г.Ф. Комбинированные следящие системы [Текст] / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов. - К.: Техника, 1978. - 268 с.
6. Зайцев, Г.Ф. Радиотехнические системы автоматического управления высокой точности [Текст] / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов. - К.: Техника, 1988. - 208 с.
7. Печенин, В.В. Синтез структурно-физической модели следящего фильтра с принудительной перестройкой частоты синхронизированного автогенератора [Текст] / В.В. Печенин, К.А. Щербина, О.В. Войтенко // Системы управління, навігації та зв'язку. - 2012.
8. Печенин, В.В. Анализ динамической точности и быстродействия следящего фильтра с принудительной перестройкой частоты синхронизированного автогенератора [Текст] / В.В. Печенин, К.А. Щербина, О.В. Войтенко // Системи обробки інформації. - 2012. - Вип. 9 (107). - С. 69-72
9. Щербина, К.А. Оценка флуктуационных погрешностей следящей системы, реализованной на синхронизированном автогенераторе [Текст] / К.А. Щербина, В.В. Печенин, М.А. Вонсович, Ю.В. Съедина // Наука і техніка Повітряних Збройних Сил України. - 2014. - №3 (16) - С.33-35.

10. Фомин, А.Ф. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы [Текст] / А.Ф. Фомин, А.И. Хорошавин, О.И. Шелухин; под. ред. А.Ф. Фомина. - М.: Радио и связь, 1987. - 248 с.

11. Печенин, В.В. Статическая модель доплеровского сигнала автономного измерителя скорости летательного аппарата [Текст] / В.В. Печенин, К.А. Щербина, О.В. Войтенко // Всеукраїнський міжведомствений науково-технічний збірник «Радиотехніка». - 2014. - Вип. 177. - С. 64-70.

12. Печенин, В.В. Система частотно-фазовой автоподстройки частоты на основе синхронизированного автогенератора с двухходовым управлением. [Текст] / В.В. Печенин, А.Р. Сарамолки // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2009. - №4 (38). - С. 25-33.

13. Колчинский, В.Е. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов [Текст] / В.Е. Колчинский, И.А. Мандуровский, М.И. Константиновский. - М.: Сов. радио, 1975. - 432 с.

14. Печенин, В.В. Анализ помехоустойчивости доплеровского измерителя с автоматической регулировкой полосы пропускания узкополосного фильтра [Текст] / В.В. Печенин, К.А. Щербина, М.А. Вонсович, Ю.В. Съедина, Е.П. Мсалам. // Наука і техніка Повітряних Сил України. - №1 (22). - С. 106-110.

15. Винницкий, А.С. Модулированные фильтры и следящий прием ЧМ-сигналов [Текст] / А.С. Винницкий. - М.: Советское радио, 1969. - 548 с.

Надійшла до редколегії 28.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.В. Павліков, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

СТРУКТУРНИЙ СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНО-ФАЗОВОГО АУТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ, СУМІЩЕНОГО З ФІЛЬТРУЮЧОЮ СХЕМОЮ СПЕКТРУ ВХІДНОГО СИГНАЛУ

В.В. Печенин, К.О. Щербина, М.А. Вонсович, К.П. Мсалам

У роботі представлені результати досліджень, пов'язані з подальшим удосконаленням комбінованих систем фазового автопідстроювання частоти об'єкта управління – синхронізованого генератора. Основна мета виконаних досліджень полягала в розробці структури комбінованої системи ЧФАПЧ з розширеним складом кількісних показників якості роботи системи, найкращих за своїм значенням і спільним виділенням і обробкою спектру вхідного ЧМ-сигналу, що спостерігається на фоні адитивної гаусівської завади.

Ключові слова: слідуючий доплерівський фільтр, фільтрація, показники якості, слідуючий прийом, частота.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF COMPOUND PHASE LOCKED LOOP SYSTEM COMBINED WITH FILTER CIRCUIT INPUT SPECTRUM

V.V. Pechenin, K.A. Shcherbina, M.A. Vonsovich, E.P. Msallam

The present study provides the research results related to the further improvement of the combined phase locked loop control systems with the controlled element – voltage controlled oscillator. The main objective of the carried out research was to develop the structure of combined PLL system with the advanced quantitative composition of best performance indices of the system and common extracting and processing of the input FM signal spectrum observed against additive Gaussian noise.

Keywords: Doppler tracking filter, filtration, quality indicators, tracking, frequency.

УДК 519.876.5

А.В. Рудий, М.Ю. Яковлев

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

МОДЕЛЮВАННЯ МАКРОПРОФІЛЮ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ

Розглянуто питання імітаційного моделювання опорної поверхні, по якій здійснює рух військова гусенична машина. З використанням методу зворотного перетворення побудовано алгоритм отримання масиву випадкових значень кутів нахилу опорної поверхні. Запропонований алгоритм дозволяє уточнити існуючі імітаційні моделі збуреного руху військової гусеничної машини та може бути використаний під час досліджень, спрямованих на вдосконалення елементів трансмісії та силової установки військових гусеничних машин

Ключові слова: військова гусенична машина; імітаційне моделювання; макропрофіль; функція розподілу; алгоритм; метод зворотних перетворень.

Вступ

На різних етапах розробки та модернізації сучасних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) широкого застосування знаходить імітаційне моделювання. Застосування імітаційної моделі дозволяє наблизити математичний апарат до реальних умов, таким чином значно підвищуючи його адекватність. Використання імітаційного моделювання, як заміника натурного експерименту зменшує вартість та обсяги проектувальних робіт. Під час розробки гідроб'ємного механізму повороту (ГОМП) військових гусеничних машин (ВГМ) існує необхідність у дослідженні сил та моментів, які впливають на ВГМ під час криволінійного руху по пересіченій місцевості. У даному випадку імітаційне моделювання випадкових збурень дозволяє уточнити сили та моменти, необхідні для криволінійного руху ВГМ.

Аналіз відкритих джерел показав, що питанню моделювання макропрофілю дороги приділено недостатньо уваги. Імітаційне моделювання випадкових збурень, що виникають під час руху гусеничної машини розглянуто у ряді робіт, спрямованих зде-

більшого на дослідження впливу мікропрофілю покриття на систему підресорювання та вібронавантаженість системи [1, 3, 6]. Робота [7] розглядає побудову випадкового профілю поверхонь руху. Втім, у представлених дослідженнях не враховується макропрофіль покриття. Відомо, що макропрофіль дороги впливає на динамічні властивості транспортного засобу [2, 5]. Це необхідно врахувати під час моделювання руху ВГМ при вирішенні завдань дослідження параметрів трансмісії та силової установки.

Метою даної роботи є побудова алгоритму імітаційної моделі макропрофілю покриття, який впливає на силові та кінематичні параметри трансмісії ВГМ під час її криволінійного руху.

Виклад основного матеріалу

У роботі [4] представлено основні характеристики рельєфу місцевості. Відповідно до [8] рельєфу України здебільшого рівнинний, рідше горбистий, що скорочує обсяги моделювання макропрофілю. У табл. 1 представлено основні характеристики рельєфу України [4], отримані на підставі обробки експериментальних даних.

Таблиця 1

Основні характеристики рельєфу України

Тип рельєфу	Параметри поверхні руху				
	Висота над рівнем моря, м	Відносне підвищення деяких точок над рештою поверхні, м/км	Крутизна скатів, що переважає, град.	Вірогідність місцевості з горизонтальним профілем ($\alpha=0$)	Середньоквадратичне відхилення σ функції розподілу кутів нахилу
Рівнинний	до 300	До 25	1 – 1,5	0,515	0,024
Горбистий	до 500	25 - 200	2 - 5	0,474	0,061

Основним параметром макропрофілю поверхні, який здійснює вплив на динамічні показники ВГМ є кут підйому (спуску) α .

Таким чином імітаційне моделювання макропрофілю покриття зводиться до побудови масиву випадкових величин кута нахилу поверхні, по якій відбувається рух машини. Відповідно до [8] розподіл кутів нахилу поверхні підпорядковується нормальному розподілу

$$f(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\alpha - M_\alpha}{2\sigma^2}\right)^2, \quad (1)$$

де α – кут нахилу опорної поверхні, M_α – математичне сподівання, σ – середньоквадратичне відхилення. Графік щільності розподілу є симетричним відносно початку координат (рис. 1, а). Математичне сподівання функції розподілу кутів нахилу поверхні $M_\alpha = 0$. Інтегральна функція розподілу – на рис. 1, б.

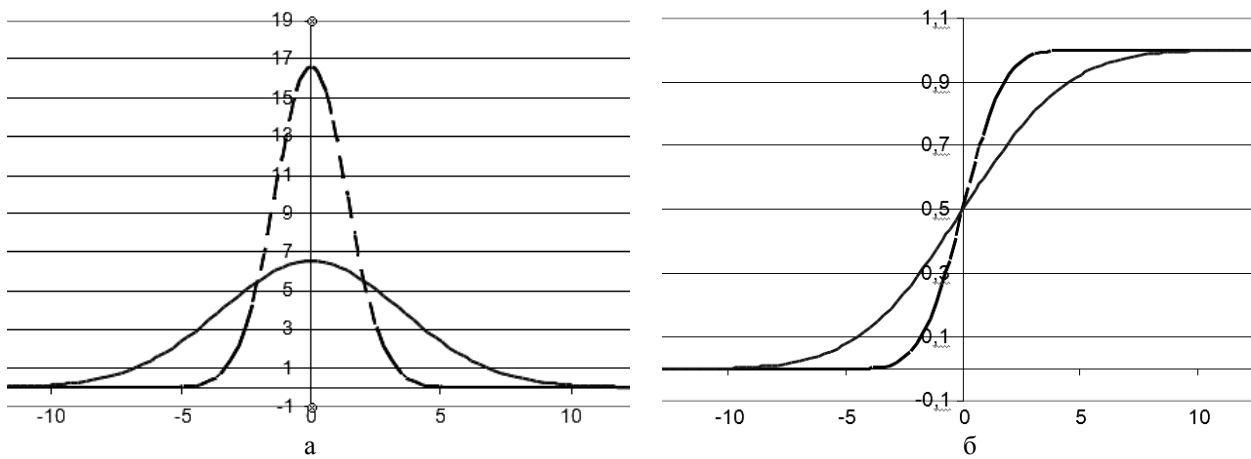


Рис. 1. Нормальний розподіл: а – функція щільності розподілу кутів нахилу поверхні; б – спектральна щільність розподілу кутів нахилу поверхні (суцільна лінія – горбистий рельєф, пунктир – рівнинний рельєф)

Алгоритм моделювання макропрофілю дороги базується на роботі генераторів масиву випадкових чисел, формуючих значення кутів підйому або спуску, в залежності від типу рельєфу, використовуючи параметри, відображені у табл. 1.

Визначення події « $\alpha=0$ » відбувається за допомогою алгоритму бінарного розподілу, який використовує для роботи генератор випадкових чисел $\xi=RND(0..1)$. Для генерації випадкових значень кутів, що не дорівнюють 0° використовується метод зворотнього перетворення функції нормального розподілу. Вихідними даними для роботи алгоритму є тип рельєфу місцевості та кількість перебігів (ітерацій) алгоритму.

Тип рельєфу місцевості задається у чисельному вигляді, як індекс, що відповідає обраному типові рельєфу:

- 1 – рівнинний рельєф,
- 2 – горбистий рельєф.

У відповідності від заданого індексу, блок визначення та присвоювання проміжних даних визначає та присвоює значення вірогідності події « $\alpha=0$ » (кут нахилу поверхні відсутній) та значення середньоквадратичного відхилення функції розподілу кутів відповідно до даних табл. 1.

Алгоритм побудови масиву випадкових значень кутів макропрофілю поверхні складений з таких кроків:

Крок 1. Внесення вихідних даних.

Крок 2. Присвоювання проміжних даних.

Крок 3. Визначення та присвоювання проміжних даних відповідно до типу заданого рельєфу.

Крок 4. Отримання випадкового значення куту схилю (для поточної ітерації).

Крок 5. Визначає аргумент оберненої функції нормального розподілу.

Крок 6. Отримання випадкового значення кута схилю для поточної ітерації, якщо $\alpha \neq 0$.

Крок 7. Виведення матриці випадкових даних, а також графіка $\alpha(i)$.

Алгоритм побудовано на основі програмного середовища Excel. Для реалізації зворотного перетворення використано команду $NORMINV(P, M_\alpha, \sigma)$. Величина вірогідності P для команди $NORMINV$ отримується за допомогою генератора випадкових чисел $RAND()$ та визначає випадкову складову процесу побудови масиву кутів нахилу.

За допомогою розробленого алгоритму отримано масив випадкових значень кутів нахилу поверхні α для $N=1000$ (рис. 2).

Оскільки функція кута нахилу поверхні є похідною від функції макропрофілю, то маючи набір значень кута нахилу, шляхом інтегрування функції $\text{tg } \alpha(i)$ отримаємо функцію макропрофілю поверхні руху (рис. 3).

Отримуючи для кожної наступної ітерації нове випадкове значення можливо змоделювати макропрофіль покриття, по якому здійснює рух гусенична машина. Це дає змогу уточнити існуючі імітаційні моделі збуреного руху ВГМ.

Алгоритм побудови масиву кутів нахилу поверхні не прив'язаний до часових показників, що дає змогу використовувати його також для імітаційного моделювання макропрофілю певного типу рельєфу під час вирішення завдань іншого спрямування.

Висновки

1. Питання моделювання макропрофілю опорної поверхні є важливою частиною імітаційного моделювання руху гусеничної машини по пересіченій місцевості, проте у сучасних публікаціях даному питанню приділено відносно мало уваги.

2. У роботі запропоновано алгоритм побудови макропрофілю опорної поверхні у вигляді масиву випадкових значень кутів схилю, які знаходять застосування під час імітаційного моделювання руху ВГМ

3. Запропонований алгоритм підвищує адекватність імітаційної моделі збуреного руху ВГМ завдяки урахуванню макропрофілю опорної поверхні.

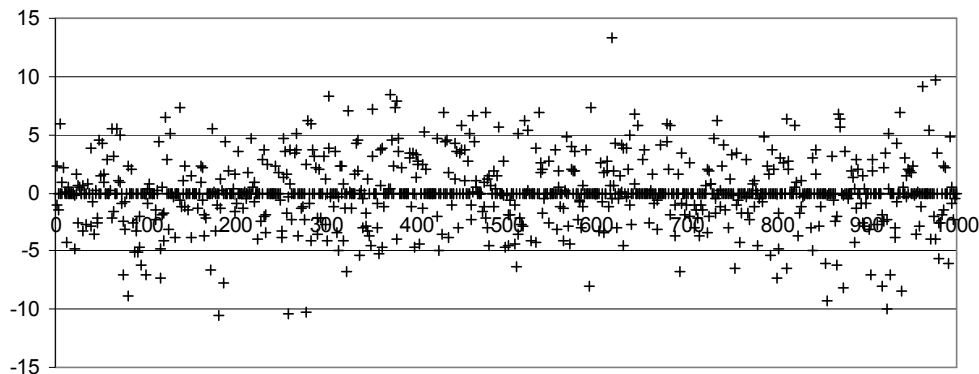


Рис. 2. Масив випадкових значень кутів нахилу опорної поверхні (горбистий рельєф)

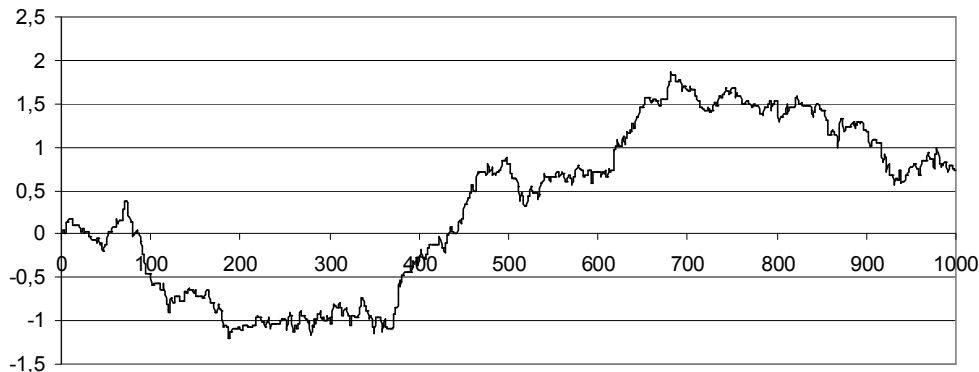


Рис. 3. Функція макропрофілю опорної поверхні для горбистого рельєфу

Список літератури

1. Белецкий А.В. Математическое и имитационное моделирование профиля дорожного покрытия [Электронный ресурс] / А.В. Белецкий, С.С. Рекунов // Интернет-журнал "НАУКОВЕДЕНИЕ" Вып. 5(24). – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <http://naukovedenie.ru>.
2. Высоцкий М. С. Основы проектирования модульных магистральных автопоездов / М.С. Высоцкий, С.И. Кочетов, С.В. Харитончик. – Минск: "Беларусская навучка", 2011. – 392 с.
3. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / [Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, В.Б. Самородов та ін.]. – Харьков: ХНАДУ, 2001. – 640 с.
4. Исаков П.П. Теория и конструкция танков / П.П. Исаков. – Москва: "Машиностроение", 1987. – 196 с.
5. Кравец В.Н. Влияние макропрофиля дороги на показатели тягово-скоростных свойств автомобиля /

В.Н. Кравец, Р.А. Мусарский. // Вестник ИжГТУ. – 2014. – №3. – С. 4–6.

6. Лелиовский К.Я. Исследование вибраций трансмиссии при движении автомобиля по дорогам различного микропрофиля. / К.Я. Лелиовский, В.С. Макаров // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – №4. – С. 98 – 103.

7. Мазманишвили А.С. Построение случайных поверхностей движения объектов бронетанковой техники / А.С. Мазманишвили, Т.Е. Александрова // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – №1. – С. 68–71.

8. Стецюк В.В. Рельеф Украины. Учебное пособие. – М.: Издательский дом «Слово», 2010. – 688 с.

Надійшла до редколегії 5.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. С.В. Герасимов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКРОПРОФИЛЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Рудой, М.Ю. Яковлев

В статье рассмотрен вопрос имитационного моделирования опорной поверхности, по которой движется военная гусеничная машина. С использованием метода обратного преобразования построен алгоритм получения массива случайных значений углов наклона опорной поверхности. Предложенный алгоритм позволяет уточнить существующие имитационные модели возмущенного движения военной гусеничной машины и может быть использован в ходе исследований, направленных на усовершенствование элементов трансмиссии и силовой установки военных гусеничных машин.

Ключевые слова: военная гусеничная машина; имитационное моделирование; макропрофиль; функция распределения; алгоритм; метод обратных преобразований.

SIMULATION OF MACRO PROFILE SUPPORT SURFACE

A. V. Rudiy, M. Yu. Yakovlev

In the article the question of simulation support surface on which the moving military tracked vehicle. Using the method of the inverse transform, an algorithm for producing an array of random values catch the tilt table surface. The proposed algorithm allows us to refine the existing simulations perturbed motion a military tracked vehicle and can be used in the course of research aimed at improving the transmission components and propulsion system of military tracked vehicles.

Keywords: military tracked vehicle; simulation; makroprofil; distribution function; algorithm; the method of inverse transformation.

IMAGE ENHANCEMENT TECHNIQUES FOR FROTH FLOTATION

Image enhancement aspect of filtering principle objective of Image enhancement is to process an image so that result is more suitable than original image for specific application. Digital image enhancement techniques provide a multitude of choices for improving the visual quality of froth images. Image filter is an explicit image filter, derived from a local linear model; it generates the filtering output by considering the content of a guidance image, which can be the input image itself or another different image. Here an overview of underlying concepts, along with algorithms commonly used for image enhancement.

Key word: *Digital Image Processing, Image Filtering, Image Enhancement.*

The problem

The choice of attributes and the way they modified are specific to a given task. Moreover, observer-specific factors, such as the human visual system and the observer's experience, will introduce a great deal of subjectivity into the choice of image enhancement methods.

The purpose of the article

Improves the interpretability or perception of information in images for human viewers and providing 'better' input for vision system for froth flotation.

Introduction

Image enhancement improves the quality (clarity) of images for human viewing [1]. It improves the interpretability or perception of information in images for human viewers and providing 'better' input for vision system for froth flotation. The choice of attributes and the way they modified are specific to a given task. Moreover, observer-specific factors, such as the human visual system and the observer's experience, will introduce a great deal of subjectivity into the choice of image enhancement methods [2].

Many techniques can enhance a digital image without spoiling it. The enhancement methods can broadly be divided in to the following two categories:

1. Spatial Domain Methods
2. Frequency Domain Methods

In spatial domain techniques [3], directly deal with the image pixels. The pixel values manipulated to achieve desired enhancement. In frequency domain methods, the image is first transferred in to frequency domain. It means that, the Fourier Transform of the image computed first. All the enhancement operations performed on the Fourier transform of the image and then the Inverse Fourier transformer formed to get the resultant image. These enhancement operations are performed in order to modify the im-

age brightness, contrast or the distribution of the grey levels. As a consequence the pixel value (intensities) of the output image will modify according to the transformation function applied on the input values. Image enhancement is applied in every field where images are ought to be understood and analyzed. For example, medical image analysis, analysis of images from satellites etc. Image enhancement simply means, transforming an image f into image g using T . Where T is the transformation, the values of pixels in images f , and g denoted by r , and s , respectively. As said, the pixel values r and s related by the expression,

$$s = T(r) . \quad (1)$$

Where T is a transformation, that maps a pixel value r into a pixel value s . The results of this transformation mapped into the grey scale range as are dealing here only with grey scale digital images. So, the results are mapped back into the range $[0, L-1]$, where $L=2^k$, k being the number of bits in the image being considered. Therefore, for instance, for an 8-bit image the range of pixel values will be $[0, 255]$. We will consider only gray level images. The same theory can extended for the color images too. A digital gray image can have pixel values in the range of 0 to 255 (fig. 1).

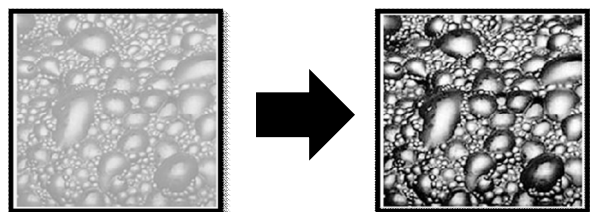


Fig. 1. Showing the effect of Image Enhancement

Many different, often elementary and heuristic methods [4] used to improve images in some sense. The problem is, of course, not well defined, as there is no objective measure for image quality. Here, discussed a few recipes that have shown to be useful both for the

human observer and/or for machine recognition. These methods are very problem-oriented: a method that works fine in one case may be completely inadequate for another problem. In this paper basic image enhancement techniques have discussed with their mathematical understanding. This paper will provide an overview of underlying concepts, along with algorithms commonly used for image enhancement. The paper focuses on spatial domain techniques for image enhancement, with particular reference to point processing methods, histogram processing.

Point Processing Operation

The simplest spatial domain operations occur when the neighborhood is simply the pixel itself. In this case, T referred to as a grey level transformation function or a point processing operation (fig. 2). Point processing operations take the form shown in equation (1).

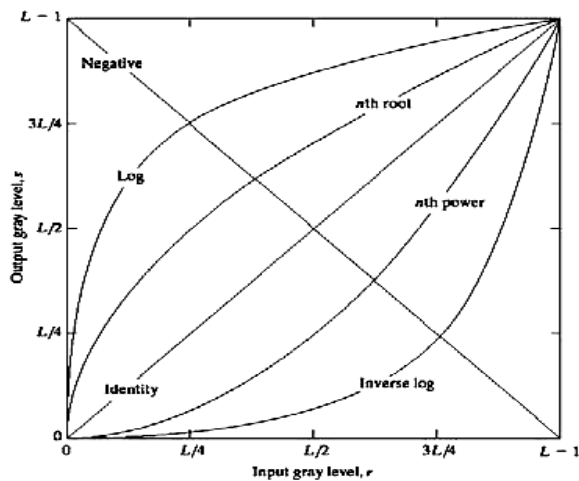


Fig. 2. Figure shows basic grey level transformations

Create Negative of an Image

The most basic and simple operation in digital image processing is to compute the negative of an image. The pixel gray values are inverted to compute the negative of an image. For example, if an image of size R x C, where R represents number of rows and C represents number of columns, is represented by I(r, c). The negative N(r, c) of image I(r, c) can be computed as

$$N(r, c) = 255 - I(r, c), \tag{2}$$

where $0 \leq r \leq R$ and $0 \leq c \leq C$.

It can be seen that every pixel value from the original image is subtracted from the 255. The resultant image becomes negative of the original image. Negative images [5] are useful for enhancing white or grey detail embedded in dark regions of the froth image (fig/3):

$$s = \text{intensity}_{\max} - r. \tag{3}$$

Thresholding Transformations

Thresholding transformations [6] are particularly useful for segmentation in which wanted to isolate an object of interest from a background as shown in fig. 4.

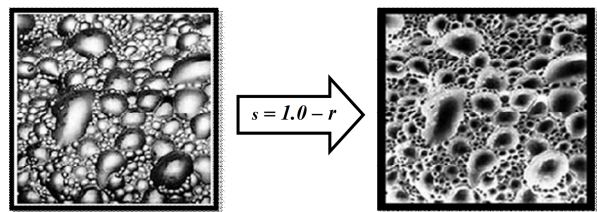


Fig. 3. Note how much clearer the tissue is in the negative image of the neck vertebrae

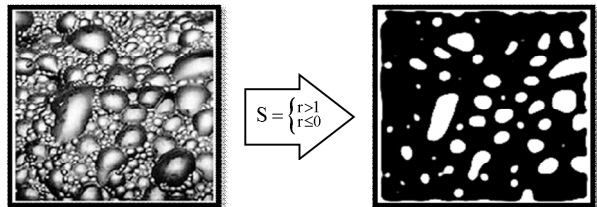
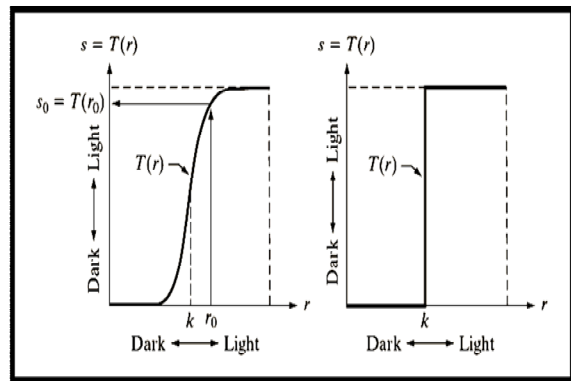


Fig. 4. Showing effect of Thresholding transformation for isolating object of interest

$$s = \begin{cases} 0.0, & r \leq \text{threshold}; \\ 1.0, & r > \text{threshold}. \end{cases}$$

Intensity Transformation



Logarithmic Transformations

The general form of the log transformation is

$$s = c * \log(1 + r) \tag{4}$$

The log transformation maps [7] a narrow range of low input grey level values into a wider range of output values. The inverse log transformation performs the opposite transformation. Log functions are particularly useful when the input grey level values may have an extremely large range of values. In the following example the Fourier transform of an image is put through a log transform to reveal more detail (fig/ 5):

$$s = \log(1 + r). \tag{5}$$

Usually set c to 1. Grey levels must be in range [0.0, 1.0].

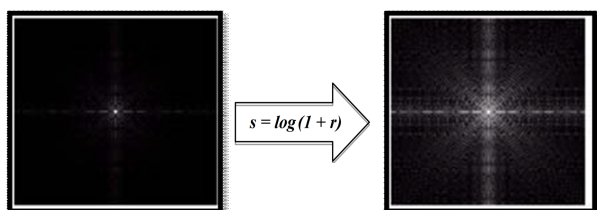


Fig. 5. Example-showing effect of Logarithmic transformation

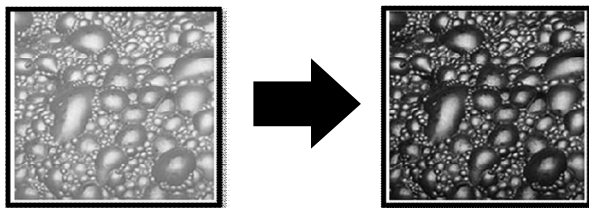
Powers-Law Transformations

The n^{th} power and n^{th} root curves shown in fig. a can give by the expression,

$$s = cr^\gamma. \tag{6}$$

This transformation function also called as *gamma* correction [8]. For various values of γ , different levels of enhancements can obtained. This technique quite commonly called as *Gamma Correction*. If you notice, different display monitors display images at different intensities and clarity. That means, every monitor has built-in gamma correction in it with certain gamma ranges and so a good monitor automatically corrects all the images displayed on it for the best contrast to give user the best experience. The difference between the log transformation function and the power-law functions is that using the power-law function a family of possible transformation curves can obtained just by varying the λ . These are the three basic image enhancement functions, for grey scale images, that can applied easily for any type of image, for better contrast, and highlighting. Using the image negation formula given above, it is not necessary for the results to be mapped into the grey scale range $[0, L-1]$. Output of $L-1-r$ automatically falls in the range of $[0, L-1]$. However, for the Log and Power-Law transformation s resulting values are often quite distinctive, depending upon control parameters like λ and logarithmic scales. Therefore, the results of these values should mapped back to the grey scale range to get a meaningful output image. For example, Log functions = $c \log(1+r)$ results in 0 and 2.41 for r varying between 0 and 255, keeping $c=1$. So, the range $[0, 2.41]$ should mapped to $[0, L-1]$ for getting a meaningful image.

OUTPUT. For $c=1$, gamma value >1 %:



Piecewise Linear Transformation Functions

Rather than using a well-defined mathematical function can use arbitrary user-defined transforms {fig. 6}.

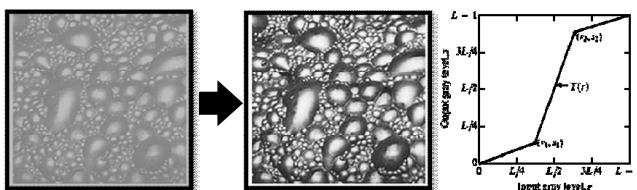


Fig. 6. The images below show a contrast stretching linear transform to add contrast to a poor quality froth image

Grey Level Slicing

Grey level slicing [9] is the spatial domain equivalent to band-pass filtering. Either a grey level slicing function can emphasize a group of intensities diminish all others or it can emphasize a group of grey levels and leave the rest alone. Example shown in the fig. 7.

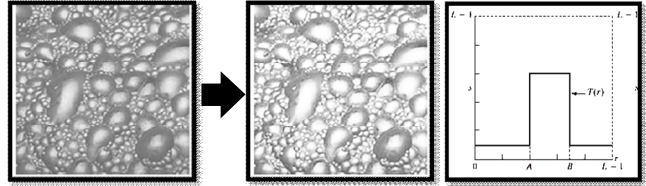


Fig. 7. Showing example of Grey level slicing

Histogram Processing

The histogram of a digital image with intensity levels in the range $[0, L-1]$ is a discrete function $p(r_k) = n_k$, where k^{th} intensity value, n_k number of pixels in the image with intensity r_k . Histograms frequently normalized by the total number of pixels in the image. Assuming an $M * N$ image, a normalized histogram $p(r_k) = n_k / (MN)$, $k = 0, 1, \dots, L-1$, related to probability of occurrence of r_k in the image.

Histogram Equalization

Histogram equalization [10] is a common technique for enhancing the appearance of froth images. Suppose have an image which is predominantly dark. Then its histogram would be skewed towards the lower end of the grey scale and all the image detail compressed into the dark end of the histogram. If could stretch out the grey levels at the dark end to produce amore uniformly distributed histogram, then the image would become much clearer (fig. 8).

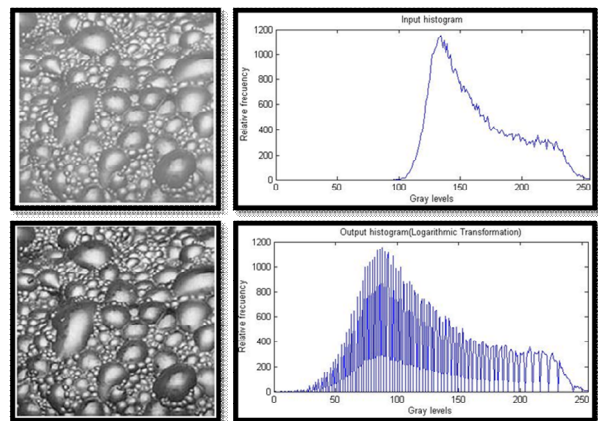


Fig. 8. The original froth image and its histogram, and the equalized versions

Histogram Matching

Histogram equalization [11] determines a transformation function seeking to produce an output image with a uniform histogram. Another method is to generate an image having a specified histogram is histogram matching.

1. Find the histogram $p_r(r)$ of the input image and determine its equalization transformation

$$s = T(r) = (L-1) \int_0^r p_r(w) dw. \quad (7)$$

2. Use the specified pdf $p_z(r)$ of the output image to obtain the transformation function:

$$G(z) = (L-1) \int_0^z p_z(t) dt = s. \quad (8)$$

3. Find the inverse transformation $z = G^{-1}(s)$ – the mapping from s to z :

$$z = G^{-1}[T(r)] = G^{-1}(s). \quad (9)$$

4. Obtain the output image by equalizing the input image first.

Then for each pixel in the equalized image, perform the inverse mapping to obtain the corresponding pixel of the output image. Histogram matching enables us to “match” the gray scale distribution in one image to the grayscale distribution in another image (fig. 9).

Local Enhancement

Previous methods of histogram equalizations and histogram matching are global. Local enhancement [12]

is used. Define square or rectangular neighborhood (mask) and move the center from pixel to pixel. For each neighborhood, calculate histogram of the points in the neighborhood.

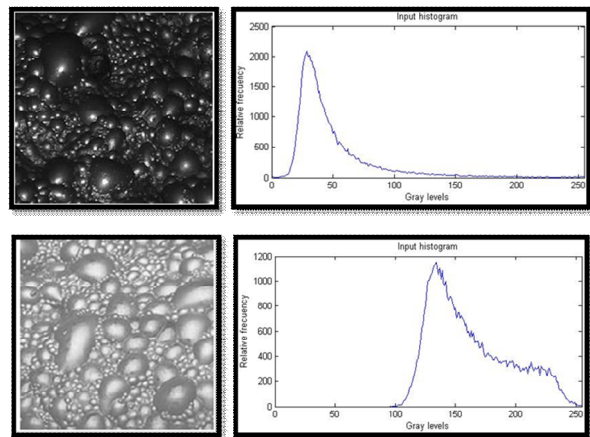


Fig. 9. Showing histogram matching different froth images

Obtain histogram equalization/specification function. Map gray level of pixel centered in neighborhood. It can use new pixel values and previous histogram to calculate next histogram (fig. 10).

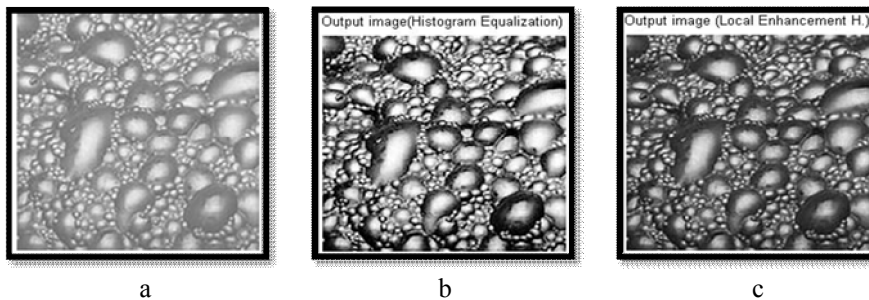


Fig. 10.(a) Original Image (b) Result of global histogram Equalization (c) Result of Local histogram equalization using 7*7 neighborhood about each pixel

Use of Histogram Statistics for Image Enhancement

Let the intensity in an image is represented by a discrete r in $[0, L-1]$ and let $p(r_i)$ is the normalized histogram – estimate of pdf for the intensity, with mean value m . The n^{th} statistical moment is

$$\mu_n(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^n p(r_i). \quad (10)$$

For image intensities, a sample mean:

$$m = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y). \quad (11)$$

and sample variance:

$$\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - m]^2. \quad (12)$$

As previously, may specify global mean [13, 14] and variance (for the entire image) and local mean and variance for a specified sub-image (subset of pixels).

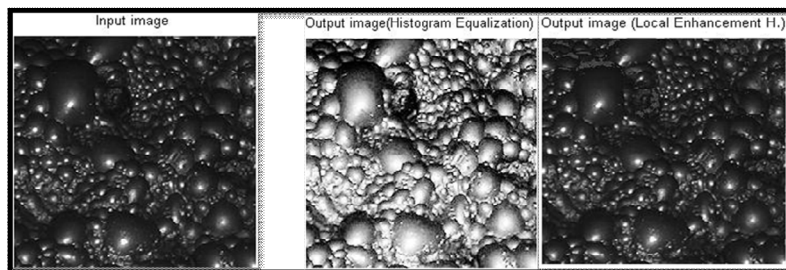


Fig. 11. Showing example of using histogram statistics for froth image enhancement

Conclusion

In vision systems for froth flotation process, image enhancement algorithms offer a wide variety of approaches for modifying froth images to achieve visually acceptable images.

The choice of such techniques is a function of the specific task, froth image content, observer characteristics, and viewing conditions. The point processing methods are most primitive, yet essential image processing operations and used primarily for contrast enhancement. Image Negative is suited for enhancing white detail embedded in dark regions and has applications in froth flotation.

Power-law transformations are useful for general-purpose contrast manipulation. For a dark image, an expansion of gray levels accomplished using a power-law transformation with a fractional exponent. Log Transformation is Useful for enhancing details in the darker regions of the image at the expense of detail in the brighter regions the higher-level values. For a froth image having a washed-out appearance, a compression of gray levels obtained using a power-law transformation with γ greater than 1.

The histogram of an image (i.e., a plot of the gray level frequencies) provides important information regarding the contrast of an image. Histogram equalization is a transformation that stretches the contrast by redistributing the gray-level values uniformly. Only the global histogram equalization can done completely automatically. Although it has did not discuss the computational cost of enhancement algorithms in this article it may play a critical role in choosing an algorithm for real-time applications.

Despite the effectiveness of each of these algorithms when applied separately, in practice, one has to

devise a combination of such methods to achieve more effective image enhancement.

The list of references

1. A. Goyal, A. Bijalwan, P. Kumar, K. Chowdhury "Image Enhancement using Guided Image Filter Technique" (JEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-1, Issue-5, June 2012.
2. Raman Maini and Himanshu Aggarwal, 2010, A Comprehensive Review of Image Enhancement Techniques
3. Bhabatosh Chanda and Dwijest Dutta Majumder, 2002, Digital Image Processing and Analysis.
4. R.W.Jr. Weeks,(1996). Fundamental of Electronic Image Processing. Bellingham: SPIE Press
5. A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.
6. R.M. Haralick, and L.G. Shapiro, Computer and Robot Vision, Vol-1, Addison Wesley, Reading, MA, 1992.
7. R. Jain, R. Kasturi and B.G. Schunck, Machine Vision, McGraw-Hill International Edition, 1995.
8. W. K. Pratt, Digital image processing, Prentice Hall, 1989.
9. A.C. Bovik, Digital Image Processing Course Notes, Dept. of Electrical Engineering, U. of Texas at Austin, 1995.
10. J.C. Russ, The Image Processing Handbook, CRC Press, Boca Raton, FL., 1992.
- 11/ R Hummel, "Histogram modification techniques", Computer Graphics and Image Processing, Vol. 4, pp. 209-224, 1975.
12. S. E. Umbaugh, "Computer Vision & Image Processing," Prentice Hall PTR, 1998
13. S. M. Pizer, et al., "Adaptive Histogram Equalization and its Variations," Comput. Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 39, pp. 355-368, 1987.
14. A. N. Netravali and B. G. Haskell, "Digital Pictures: Representation and Compression," New York: Plenum, 1988.

Надійшла до редколегії 27.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Рудницький, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ПЕННОЙ ФЛОТАЦИИ

Аль-Джанаби Акиль Бахр Тархан. Л.А. Шувалова

Повышения качества изображения с помощью фильтрации, производится таким образом, что результат превосходит оригинал изображения для конкретного приложения. Цифровое повышение качества изображения, предоставляет множество вариантов для улучшения визуального качества изображений. Фильтр изображения является составной частью фильтра изображения, производного от локальной линейной модели; он порождает фильтрацию выходных данных, с помощью рассмотрения содержания указанного изображения, которое само может быть входным изображением или другим изображением. Приведён обзор базовых понятий, наряду с алгоритмами, используемыми для повышения качества изображения.

Ключевые слова: Цифровая обработка изображений, фильтрация изображений, улучшение качества изображения.

МЕТОДИ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ПІННОЇ ФЛОТАЦІЇ

Аль-Джанабі Акіл Бахр Тархан. Л.А. Шувалова

Підвищення якості зображення за допомогою фільтрації, проводиться таким чином, що результат перевершує оригінал зображення для конкретного додатка. Цифрове підвищення якості зображення, надає безліч варіантів для поліпшення візуальної якості зображень. Фільтр зображення є складовою частиною фільтра зображення, похідного від локальної лінійної моделі; він породжує фільтрування вихідних даних, з допомогою розгляду змісту зазначеного зображення, яке саме може бути входним зображенням або іншим зображенням. Наведено огляд базових понять, поряд з алгоритмами, що використовуються для підвищення якості зображення.

Ключові слова: Цифрова обробка зображень, фільтрація зображень, поліпшення якості зображення.

УДК 621.3.019

Л.Н. Беркман, В.В. Вишнівський

Державний університет телекомунікацій, Київ

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Досліджуються проблема створення інформаційної технології для синтезу високоефективних систем технічного діагностування інформаційних систем. Проводиться аналіз методів підвищення ефективності систем технічного діагностування інформаційних систем на основі впровадження інформаційних технологій. Визначаються основні напрямки розробки систем технічного діагностування інформаційних систем.

Ключові слова: системи технічного діагностування, інформаційні системи, інформаційні технології.

Вступ

Сучасні інформаційні системи (ІС) представляють собою складні технічні системи, що являються об'єднанням робочих місць користувачів, приладів доступу до ІС, фізичної мережі та управляючої системи, а також програмного забезпечення. Системи, які з'явилися спочатку в наукових установах та в промисловості, знайшли широке застосування практично у всіх сферах життєдіяльності людини.

Аналіз стану проблеми. Однією з основних вимог, які пред'являються до ІС – це забезпечення їх високої ефективності, тобто можливої виконувати задані функції з необхідною якістю. Однією з основних складових частин ефективності функціонування ІС являється надійність [1 – 3]. Надійність ІС залежить від багатьох факторів серед яких визначальними являються середній наробіток до відмови та середня тривалість відновлення. Складовою частиною тривалості відновлення є час контролю технічного стану і час локалізації несправності з точністю до нерозбірного елемента ІС. Вирішення даних задач покладено на засоби технічної діагностики ІС, зокрема на вбудовані системи контролю й діагностики (СТД), а також на самоперевіряючі засоби функціонального діагностування. Окремо необхідно виділити питання пов'язані з надійністю програмного забезпечення. Причому, якість надання послуг кінцевому користувачу ІС повинна забезпечуватись за принципом 7/24, тобто цілодобово. Це пов'язано не тільки з використанням різними розробниками різних методик для оцінки устаткування, але і різною природою модулів. Окрім цього, часто відсутня інформація про складність модулів, а задача порівняльної оцінки модулів з різною природою або комбінованих являється слабо вивченою. Використання СКД приводить у цілому ряді випадків до неможливості обслуговуючого персоналу отримати доступ до ряду систем без наявності спеціального устаткування. Таким чином, сьогодні існує актуальна науково-технічна проблема забезпечення заданого рівня ефективності функціонування ІС на основі удосконалення системи контролю й діагностики.

Основна частина

Вирішити визначену науково-технічну проблему можливо використовуючи останні досягнення в області мікроелектроніки та інформаційних технологій (ІТ). Для сучасних ІС передбачається розробка і використання ефективних СТД. Проте, сьогодні немає єдиних підходів до створення таких систем. Крім того, не в повній мірі розроблені принципи отримання діагностичної інформації систем технічного діагностування ІС.

В даний час, можна виділити кілька основних напрямків з підвищення надійності ІС:

в першу чергу надійність ІС досягається за рахунок використання в ній високонадійних елементів. Це досягається застосуванням в пристроях ІС інтегральних схем з високим ступенем інтеграції (інтенсивність відмов в ІС 10^{-6} – 10^{-8} 1/ч), використанням оптичних елементів, а також впровадженням нових типів друкованих плат, контактних з'єднань, нових технологій ІС і т.д.;

забезпечення оптимальних режимів роботи елементів. Велике значення при цьому має вибір коефіцієнта навантаження по тепловому, механічному й радіаційному режиму. Режими залежать від конструкції пристроїв, від прийнятих технічних рішень, які необхідно врахувати в процесі проектування;

введення надмірності або резервування, тобто застосування додаткових засобів і можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкта при відмові одного або декількох його елементів. Використовуються різні види резервування: структурне, часове, функціональне, інформаційне і програмне.

забезпечення своєчасного відновлення пристроїв, що відмовили; необхідно вирішити завдання, пов'язані з виявленням відмови і з пошуком відмовили елементів. Ефективність діагностування підвищується при використанні автоматизованих систем контролю;

забезпечення надійності програмного забезпечення. Надійність програмного забезпечення може бути збільшена за рахунок програмного резервування та використання засобів автоматичного контролю за правильністю виконання обчислювального процесу.

Наявність системи автоматичного контролю сприяє збільшенню готовності і обслуговуємості ІС;

побудова ІС на базі використання самоперевіряємих засобів функціонального діагностування, створення самоперевіряємих пристроїв і відмовостійких систем.

З усіх перерахованих напрямків підвищення надійності ІС особливо можна відзначити проблему контролю і діагностування. Забезпечення заданих технічних характеристик ІС засобами діагностування представляє собою єдиний процес, який охоплює всі основні етапи їх життя: проектування, виробництво і експлуатацію, а саме:

при розробці ІС надається можливість забезпечити її СТД, яка повинна відповідати висунутим вимогам;

при проектуванні встановлюється теоретична, а в процесі створення і випробувань – фактична відповідність параметрів СТД заданим вимогам;

після виготовлення параметри АА СТД підтримуються правильною організацією експлуатації.

Отже, забезпечення заданих параметрів СТД – це комплексна науково-технічна задача, що охоплює широкий круг наукових (математичних, фізико-хімічних, біологічних), інженерних (проектно-конструкторських, виробничий-технологічних, експлуатаційних) і економічних аспектів. Вирішення цієї задачі пов'язане з реалізацією численних організаційних і технічних, а часто і фундаментальних наукових досліджень, які вимагають великих витрат часу і коштів, а також стосується різних галузей науки і техніки.

Аналіз сучасних та перспективних систем технічного діагностування ІС виявив основні недоліки, які їм властиві:

1. Відсутність універсального методу для визначення технічного стану різних типів схем і пристроїв.

2. Невідповідність можливостей існуючих СТД інформаційних систем сучасним вимогам.

3. Відсутність закінченої наукової теорії технічної експлуатації інформаційних систем.

4. Недостатня увага питанням забезпечення високої ремонтпридатності інформаційних систем.

5. Недостатня розробка і реалізація нових ефективних методів, алгоритмів і засобів автоматизованого і автоматичного контролю.

6. Відсутність методології застосування інформаційних технологій для розробки математичних моделей діагностуємих елементів ІС, методик побудови алгоритмів і тестів діагностування.

Відсутність методології застосування інформаційних технологій для розробки математичних моделей діагностуємих елементів ІС, методик побудови алгоритмів і тестів діагностування пов'язана, перш за все, з неможливістю існуючого теоретичного апарату вирішити задачу автоматичного синтезу моделі. У всіх існуючих теоріях побудови діагностичних моделей основною проблемою також є проблема автоматизації процесу моделювання.

Таким чином, проведений аналіз показав, що автономні автоматизовані системи технічного діагностування (АА СТД) ІС, що побудовані на основі існуючих методів і методик, є малоефективними і не відповідають сучасним вимогам. Тому при експлуатації існуючих і створенні нових перспективних ІС необхідно визначити шляхи і методи їх усунення даних недоліків.

Основні принципи системного підходу при рішенні поставленої задачі по забезпеченню заданих параметрів для автономних автоматизованих систем технічного діагностування в ІС можна сформулювати наступним чином [3]:

1. Принцип системного підходу. Даний принцип дає змогу розглядати АА СТД у комплексі з інформаційних систем, що дозволяє забезпечити максимум показника ефективності її експлуатації.

2. Принцип універсальності. Він передбачає можливість отримання та обробки діагностичної інформації для різних типів схем (аналогових, аналогово-цифрових і цифрових) з визначеними часом і періодом контролю і приводити інформацію про їх технічний стан до одного вигляду.

3. Принцип ієрархічності. Він визначає порядок отримання та обробки діагностичної інформації від загальних систем до окремих пристроїв та елементів в залежності від структури інформаційних систем та методів побудови АА СТД.

4. Принцип неперервного розвитку системи. Він передбачає можливість швидкої заміни алгоритмів роботи, постійного поповнення баз даних АА СТД, а також введення нових критеріїв при прийнятті рішень.

5. Принцип адаптивності. Він передбачає можливість змінювати структуру АА СТД у визначених межах при їх реалізації у різних інформаційних системах.

6. Принцип забезпечення взаємного узгодження основних характеристик автономних автоматизованих систем технічного діагностування з показниками надійності ІС, у яких ці АА СТД застосовуються. Він означає, що вимоги, які пред'являються до автономних автоматизованих систем технічного діагностування обумовлені необхідністю забезпечення заданого рівня надійності ІС в цілому.

7. Принцип пропорційно-послідовного рішення всього комплексу взаємозалежних задач, що входять у дослідження. Принцип передбачає рішення задач у строго визначеній логічній послідовності. При цьому більша увага приділяється найбільш важливим і найменш дослідженим питанням.

8. Принцип забезпечення цілісності щодо окремих етапів і задач. Дослідження, які проводяться на різних етапах (вивчення властивостей аналогових і цифрових схем, спільний їх розгляд, дослідження методів отримання та обробки діагностичної інформації, експериментальна перевірка й практичне впровадження основних наукових результатів), підпоряд-

ковані єдиної меті. Отримані на окремих етапах результати, відіграючи підпорядковану роль із погляду досягнення загальної мети, разом з тим можуть становити й самостійний інтерес і впливати на процес дослідження.

9. Принцип зважених зусиль. Він передбачає раціональний (оптимальний) розподіл зусиль (обмежених засобів) між методами отримання та обробки діагностичної інформації про ТС аналогових і цифрових пристроїв відповідно до реальних умов і допусками, при яких вирішуються задачі.

Як відомо, процес пізнання нової якості складного явища (інтеграція) нерозривно переплітається з процесом диференціації (декомпозиції), вивчення окремих сторін і властивостей цього явища з застосуванням найбільш ефективних засобів для його пізнання. Тому в основу комплексного дослідження процесу діагностування ІС автономною автоматизованою системою технічного діагностування покладено метод окремого дослідження і аналізу складових задач в відповідності до викладених вище принципів і узагальнюючого синтезу отриманих результатів.

Узагальнюючи визначені принципи можна зробити висновок про можливість побудови високоефективних автономних автоматизованих систем технічного діагностування на основі використання передових досягнень в області інформаційних технологій при отриманні та обробці діагностичної інформації про стан складових частин ІС. Тому пропонується проводити наукові дослідження за наступними основними напрямками:

розробка уніфікованих ремонтних модулів, діагностичних модулів і пристроїв контролю технічного стану,

розробка спеціалізованого діагностичного обладнання для аналогових і цифрових пристроїв;

розробка автоматизованих систем технічного діагностування на ІС з використанням інформаційних технологій.

Логічним завершенням проведених наукових досліджень за вищезначеними напрямками повинна стати інформаційна технологія для забезпечення

заданих параметрів для автономних автоматизованих систем технічного діагностування в ІС.

На сучасному етапі розвитку науки і техніки є можливість створення такої технології, яка на основі інформаційних технологій визначить наукові основи нових методів отримання, обробки та управління діагностичною інформацією про аналогові і цифрові пристрої ІС.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено:

1. Визначені недоліки існуючих систем контролю й діагностики інформаційних систем.

2. Сучасні досягнення в області інформаційних технологій дають можливість створення інформаційної технології для синтезу високоефективних автономних автоматизованих систем технічного діагностування інформаційних систем.

3. Визначені основні принципи, методи отримання, обробки та управління діагностичною інформацією, на основі яких можливе створення інформаційної технології для синтезу високоефективних автономних автоматизованих систем технічного діагностування ІС.

Список літератури

1. Вишнівський В.В. Аналіз методів діагностування аналогових і цифрових пристроїв об'єктів РЕТ. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2012. – № 38. – С. 20-24.

2. ДСТУ 2389–94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Чинний від 1995.01.01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 20 с.

3. Вишнівський В.В. Обґрунтування варіантів побудови вмонтованих засобів діагностування радіоелектронних засобів озброєння // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2013. – № 40. – С. 10–14.

Надійшла до редколегії 22.09.2015

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

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Л.Н. Беркман, В.В. Вишнеvский

В статье исследуются проблема создания информационной технологии для синтеза высокоэффективных систем технического диагностирования информационных систем. Проводится анализ методов повышения эффективности систем технического диагностирования информационных систем на основе внедрения информационных технологий. Определяются основные направления разработки систем технического диагностирования информационных систем

Ключевые слова: автоматизированные системы технического диагностирования, информационные технологи.

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS OF HIGHLY TECHNICAL DIAGNOSIS OF INFORMATION SYSTEMS

L.N. Berkman, V.V. Vyshnivsky

The article examines the problem of the creation of information technology for the synthesis of highly technical diagnostic information systems. The analysis methods to increase the efficiency of technical diagnostic information systems through the introduction of information technologies systems. Determines the main directions rozrabotki technical diagnostic systems, information systems

Keywords: automated technical diagnosis systems, information technology.

УДК 621.327.8

Л.Н. Беркман, С.А. Федюнін, С.О. Серих

Державний університет телекомунікації, Київ

ОПЕРАТОРНА МОДЕЛЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ, ЩО КОМУТУЄТЬСЯ, ТА ЇЇ ВПЛИВ НА РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

В статті наведена операторна модель телекомунікаційної мережі, що розглядається як складна система, схильна до відмов різного типу та проведена оцінка впливу стану мережі на її надійність. Визначені суттєві зв'язки моделі та вплив підтримання їх працездатності на показники надійності мережі в цілому. Отримані вирази дозволяють швидко і повно оцінити надійність мережі та висунути вірні вимоги до систем автоматизованого управління мережею з метою подальшого підвищення ефективності якості управління та забезпечення високої її надійності. Запропонована модель надає можливість оцінки експлуатаційної надійності і відмовостійкості телекомунікаційної мережі на етапі її проектування, а саме виконанні моделювання, тобто складання адекватної моделі процесу функціонування мережі для подальшого виконання процедур аналізу, синтезу і оптимізації. При цьому спрощення і скорочення розрахунків надійності і відмовостійкості декількох варіантів мереж одного класу не потребує значних змін програм, змінюються лише деякі вихідні дані, що характеризують обраний варіант мережі.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, відмовостійкість, операторна модель.

Вступ

Для забезпечення високої якості обслуговування абонентів при впровадженні сучасних технологічних рішень у галузі телекомунікацій і надання високотехнологічних послуг потрібна ефективна та надійна система управління, яка забезпечує швидке реагування на виклики, оперативне підключення споживачів до нових послуг, раціональний перерозподіл ресурсів напрямком реконфігурування мережі при проведенні постійного моніторингу і оцінки її параметрів. Для розробки такої системи необхідна оцінка стану мережі та зв'язків її елементів під час роботи та у випадках появи відмов одного і групи складових мережі за наявністю зовнішніх і внутрішніх впливів. Тому актуальною стає питання розробки моделі мережі, яка за допомогою аналітичних виразів дозволить надійно оцінити стан мережі, передбачити появу прогнозованих і випадкових відмов, що відповідно покращить надійність самої мережі і якість системи управління нею.

Постановка задачі. На основі аналізу імовірних подій у телекомунікаційній мережі, що комутується та прогнозування появи відмов її елементів та зв'язків між ними розробити модель мережі та визначити вплив її складових на показники надійності.

Основна частина

Складність розв'язання поставленої задачі полягає в тому, що телекомунікаційна мережа (ТКМ) представляє собою складну гетерогенну систему із великою кількістю зв'язків. При цьому її елементи різняться як за функціональністю, тобто необхідним стає розгляд особливостей процесу їх функціонування, так і за відмінністю елементів одного класу отри-

маних від різних виробників і у різні часи випуску. Відмінність ТКМ за зв'язками продиктована загальною їх приналежністю, наявністю ресурсу мережі, наприклад, за пропускною здатністю маршрутів, їх кількістю, чисельності заявок на обслуговування користувачів, часу їх появи, можливості застосування резервних маршрутів, а відповідно і наявності зв'язків. Більшість наведених складових мають випадковий характер і слабо прогнозуються. Це в свою чергу ускладнює процес прогнозування стану мережі, який поширюється у випадку появи відмов. Потрібно розробити таку модель мережі, яка урахувала б більшість із наведених факторів відмінності і визначити їх вплив на показники надійності ТКМ.

У загальному випадку модель процесу функціонування ТКМ являє собою деякий алгоритм, що імітує поведінку й взаємодію її елементів. Цей алгоритм повинен дозволити при заданих початкових умовах, заданих числових значеннях параметрів мережі і діапазону їх зміни, оцінити, з урахуванням випадкових факторів появи відмов у мережі, експлуатаційну надійність (ЕН) і відмовостійкості ТКМ. Для розробки дієвої моделі доцільно застосувати принцип обмеження і ввести ряд раціональних припущень. Спираючись на основні положення теорії ефективності функціонування цілеспрямованих процесів запропонованих у [1] припущення будуть такими.

1. Заявки на обслуговування, що надходять в мережу, утворюють потік однорідних подій із заданим законом розподілу.

2. Кожне ІНЗ характеризується певним складом шляхів встановлення з'єднань U , що містять галузі, займані відповідно до заданого алгоритму.

3. Закони розподілу потоків відмов програмно-апаратних засобів мережі (ПАЗМ) і віднов-

лення у разі відмови каналів у галузях рахувати заданим.

4. Виклик, що зробив в i -й напрямку зв'язку, вважається обслугованим, якщо є вільні й справні фізичні канали (ФК) справні із сукупності шляхів, чи фіксовані групи фізичних каналів (ГФК) з'єднуючих вихідний і вхідний комутаційні центри (КЦ). А у разі коли ні, то викликотримує відмову.

5. Час зайнятості каналу δ визначає тривалість обслуговування є випадковим значенням із законом розподілу $f(\delta)$.

6. Функціонування мережі розглядається у найбільш складний час T - годину найбільшого навантаження і становить одну годину.

Розв'язанням задачі отриманим у результаті моделювання слід вважати значення за показником, що оцінюватиме ЕН і відмовостійкість ТКМ, у якості якого обрана імовірність безвідмовного обслуговування споживачів мережних ресурсів.

Для побудови алгоритму, що моделює процес функціонування ТКМ у реальних умовах експлуатації доцільно [2] застосовувати математичний апарат операторів, при якому будуть використовуватись наступні оператори:

- Φ_1 - формування випадкових значень моментів t_i вступу першої заявки в кожне із ІНЗ;
- Φ_2 - формування випадкових моментів часу перших відмов $t_{вдм i}$ і відновлень $t_{ві}$ ПАЗМ $_i$, що утворюють ГФК, у галузях, запис i у матрицю емоностей;
- A_3 - визначення мінімального часу $t_{i \min}$ вступу заявок на ресурси ТКМ для передавання конкретного виду ІСК;
- A_4 - визначення номера ІНЗ NN, якому відповідає момент надходження заявки на мережні ресурси $t_{i \min}$;
- P_5 - перевірка умови $t_{i \min} < T$, де T - межа інтервалу часу 0, T , на якому досліджується варіант функціонування ТКМ із метою оцінки ЕН і відмовостійкості;
- K_6 - запис 1 у лічильник загального числа заявок m , що надійшли в ТКМ;
- K_7 - запис 1 у лічильник числа заявок m_1 , що надійшли в ІНЗ на шлях першого вибору;
- A_8 - визначення сукупності шляхів U_i , що відповідають даному ІНЗ;
- P_9 - перевірка наявності вільних і справних ГФК у кожній галузях напрямку NN для шляху першого вибору;
- K_{10} - запис 1 у лічильник числа заявок K_1 , що обслуговані у шляху першого вибору напрямку NN;
- K_{11} - запис 1 у лічильник заявок 1, який обслуговано у кожній гілці шляху 1-го вибору;
- Φ_{12} - формування випадкового моменту часу θ_i , заняття ГФК викликом, що зроблено у момент $t_{i \min}$;
- Φ_{13} - формування часу звільнення ФК у $t_{зв i}$;
- A_{14} - заняття вільних і справних ФК на час $t_{зв i}$; обумовлений видом ІСК;

- Φ_{15} - формування чергового моменту t_i вступу виклику в напрямі NN;
- K_{16} - запис 1 у лічильник кількості заявок n_1 , що одержали відмову у гілках першого вибору напрямку NN;
- K_{17} - запис 1 у лічильник числа заявок d_1 загублених у шляху першого вибору напрямку NN;
- K_{18} - запис 1 у лічильник кількості заявок m_2 , що зроблено на шлях другого вибору напрямку NN;
- P_{19} - перевірка наявності вільних і справних ФК у галузях шляху другого вибору напрямку NN;
- K_{20} - запис 1 у лічильник викликів K_2 , що обслуговані у шляху другого вибору напрямку NN;
- K_{21} - запис 1 у лічильник числа викликів I_2 обслугованих галузями шляху другого вибору;
- K_{22} - запис 1 у лічильник числа викликів n_2 галузях, що одержали відмову у шляху другого вибору напрямку NN;
- K_{23} - запис 1 у лічильник числа заявок d_2 загублених у шляху другого вибору напрямку NN;
- K_{24} - запис 1 у лічильник кількості заявок m_3 , що зробили на шлях третього вибору напрямку NN;
- P_{25} - перевірка наявності вільних і справних ГФК у галузях шляху третього вибору напрямку NN;
- K_{26} - запис 1 у лічильник кількості заявок I_3 обслугованих галузями шляху третього вибору;
- K_{27} - запис 1 у лічильник кількості заявок K_3 що обслуговуються у шляху третього вибору;
- K_{28} - запис 1 у лічильник кількості заявок n_3 , загублених у галузях шляху третього вибору;
- K_{29} - запис 1 у лічильник кількості заявок d_3 загублених у шляху третього вибору напрямку NN;
- P_{30} - перевірка виразу $N_p < N$, де N_p - число проведених реалізацій; N - задана кількість реалізацій, необхідна для забезпечення потрібної точності розрахунку ЕН;
- A_{31} - перехід до чергової реалізації;
- A_{32} - обробка результатів моделювання по наведеному алгоритму;
- A_{33} - закінчення обчислень і видача результатів.

Дослідження показують, що операторна схема алгоритму, який моделює процес функціонування мережі зв'язку, за наведеними обмеженнями може бути записана так:

$$U_1 = \Phi_1 \tau^9 \Phi_2 A_3 A_4 P_5 \tau^1 K_6 K_7 A_8 P_9 \tau^2 K_{10} K_{11} \tau^6 \Phi_{12} \Phi_{13} A_{14} \tau^7 \Phi_{15} \omega \tau^3 I_2 K_{17} K_{18} K_{19} \tau^4 K_{20} K_{21} \omega \tau^6 I_4 K_{22} K_{23} K_{24} P_{25} \tau^5 K_{26} K_{27} \omega \tau^6 I_5 K_{28} K_{29} \omega \tau^7 I_1 P_{30} \tau^8 A_{31} \omega \tau^9 I_8 A_{32} A_{33}. \quad (1)$$

Зупинимося на роботі алгоритму і його основних операторах. Перед початком моделювання повинні бути задані початкові умови, які характеризують початковий стан моделі. Вони наступні:

- час звільнення ФК $t_{зв i} = 0$ (усі ГФК вільні);
- час відновлення ФК $t_{ві i}$ (усі ГФК справні);
- кількість реалізацій $N_p = 0$;

- кількість, що відпрацьовано - обслужених і загублених заявок в ІНЗ $d_i=0$.

До того ж у якості вихідних даних для моделювання повинні бути задані структура ТКМ, межа інтервалу реалізації T , кількість реалізацій N_p , що забезпечує задану точність, закони розподілу потоку заявок, відмов і відновлень ПАЗМ, а також закон розподілу часу обслуговування. Робота моделюючого алгоритму здійснюється наступним чином

Оператор Φ_1 формує для кожного ІНЗ випадкові числа t_i які імітують потік викликів відповідно до заданого закону розподілу й правилами, розглянутими вище (вступ перших ви закликів в ІНЗ). При виконанні оператора Φ_2 здійснюється формування випадкових чисел $t_{вдм i}$ і $t_{в i}$, які являють собою потоки відмов і відновлення ГФК у галузях. Один з можливих способів завдання зазначених потоків для ТКМ такий.

Із сукупності значень $\{t_{ij}\}$ у процесі виконання оператора A_3 обирається момент часу $t_{i \min}$ вступу в мережу першої (для даної реалізації) заявки. Аналогічним образом визначається момент вступу кожної чергової вимоги. Оператор A_4 згідно $t_{i \min}$ визначає номер напрямку NN , у яке зробив виклик. Оператор P_5 здійснює перевірку знаходження, що зробив виклик в межах інтервалу реалізації ($t_{i \min} < \tau_g$).

Якщо ця умова здійснюється, то виклик, що зроблено у дане направлення, фіксується у відповідних лічильниках (оператори K_6, K_7). Для цього напрямку зв'язку оператором A_8 визначається сукупність шляхів встановлення з'єднань, після чого оператор P_9 робить перевірку стану ПАЗМ, що утворюють ФК у шляху 1-го вибору. Якщо для даного шляху є вільні ($t_{в i} < t_i$) і справні ($t_{вдм i} < t_i$) ГФК, то вони відзначаються як зайняті. Причому критерієм для вибору ФК може служити його порядковий номер (якщо в ІНЗ існують ФК закріплені за споживачем певного класу), або ГФК може вибиратися випадковим шляхом. Після цього в лічильники заявок у кожній галузях і в цілому в шляху 1-го вибору записуються одиниці (оператори K_{10} і K_{11}). Для заявки, що поступила, на ресурси ТКМ оператор Φ_{12} формує випадкове значення тривалості обслуговування θ_i а Φ_{13} - час звільнення ГФК (момент закінчення обслуговування) $t_{зв i}$. На цей час ГФК у галузях вважаються зайнятими, що відзначається в матриці ємностей оператором A_{14} . Далі виконується оператор Φ_{15} , відповідно до якого формується момент часу вступу чергової заявки в дане ІНЗ. Від оператора Φ_{15} . Керування передається до оператора A_3 , тобто до обслуговування чергової заявки.

При невиконанні умови, що перевіряється оператором P_9 , у лічильники втрат шляхи першого вибору записуються 1 (оператори K_{16}, K_7), а за оператором K_{18} заявка передається на шлях 2-го вибору. Після цього за допомогою оператора P_{19} здійснюється перевірка стану ГФК в шляху другого вибору.

Якщо в результаті такої перевірки буде знайдений ланцюг справних і вільних каналів, то в лічиль-

ники обслужених заявок записуються одиниці (оператори K_{22}, K_{23}) і забезпечується перехід до виконання операторів $\Phi_{12}, \Phi_{13}, \Phi_{14}$. Така процедура виконується після перевірки стану ГФК у кожному шляху наступного вибору, передбаченим алгоритмом керування КЦ. Якщо й у шляху другого вибору немає вільних і справних ГФК, то в лічильники загублених заявок шляху 2-го вибору записуються одиниці (оператори K_{22}, K_{23}), заявка надходить на шлях 3-го вибору (оператор K_{24}), а оператором P_{25} здійснюється перевірка стану ГФК у галузях шляху 3-го вибору.

У разі коли умова оператора P_{25} виконується, то обслуговування заявки проходить аналогічно описаному вище, причому використовуються лічильник K_{26}, K_{27} і оператори $\Phi_{12}, \Phi_{13}, A_{14}, \Phi_{15}$.

Час роботи операторів P_{19} і P_{25} по відновленню шляхів, що відмовили характеризує якість роботи мережі. Чим менший час тим вище якість роботи.

При невиконанні умови, що перевіряється оператором P_{25} , у лічильники загублених вимог в ІНЗ і в галузях записуються (оператори K_{28}, K_{29}), заявка на ресурси вважається загубленою, а керування передається до оператора Φ_{15} , тобто до формування чергової заявки для даного ІНЗ.

Коли умова, що перевіряється оператором P_5 не виконується, тобто $t_{i \min} > \tau_g$, то заявка на обслуговування не надходить, тому що відповідна реалізація процесу обслуговування закінчена і керування від оператора P_5 надходить до P_{10} . Останній перевіряє кількість виконаних реалізацій. Якщо їх кількість менше заданої для одержання необхідної точності розв'язку, то здійснюється підготовка вихідних даних до чергової реалізації (оператор A_{31}), після чого керування передається до оператора 2 і процес набуває циклічний характер, повторюється.

При виконанні заданої кількості реалізацій, тобто $N_p=N$ оператором A_{32} здійснюється обробка результатів моделювання за спрощеним алгоритмом, а оператором A_{33} здійснюється видача їх на друк.

Наданий алгоритм передбачає можливість встановлення ФК по трьом шляхам для кожного ІНЗ. Однак, такий принцип може бути використаний і при моделюванні мереж із більшою кількістю зв'язків, а при наявності додаткових шляхів це дозволяє значно покращити ступень надійності ТКМ та раціонально розпоряджатись ресурсом мережі.

Удосконалення операторної моделі потребує більш детально зупинитися на визначенні того у який спосіб здійснюється завдання потоку відмов і відновлень ПАЗМ, що утворюють ГФК, де визначальним стає показник часу. Тому їх визначення стає обов'язковою складовою. Якщо в деякий момент часу $t_{вдм i}$ відбувається відмова ПАЗМ, що приводить до втрати i -го ФК групи, який буде відновлено за час- $t_{в i}$, з завершенням чого він знову перебуває в готовності до обслуговування вхідних заявок, то цей момент часу можна визначити як:

$$T_{ri} = t_{зднi} + t_{zi}. \quad (2)$$

В технічній літературі розглядаються різні способи моделювання відмов ПАЗМ [1, 3, 4] серед яких заслуговують увагу два. Перший спосіб ґрунтується на наступних міркуваннях. Якщо t_j випадковий момент часу обслуговування j -ї заявки, то імовірність відмови ПАЗМ до моменту t_j визначається так:

$$Q(t_j) = 1 - P(t_j).$$

Отримавши значення імовірності $Q(t)$, можна випадним чином [4] перерахувати і знайти $P(t)$.

Інший другий спосіб припускає формування випадкового числа $t > t_i$ безпосередньо по початково зазначеній у вхідних умовах закону функції розподілу $Q(t_j)$ і порівнянні моменту обслуговування t_j із моментом появи відмови $t_{вдм j}$. Попередні дослідження [3] показують, що для отримання спрощеного алгоритму доцільно використовувати другий спосіб, а відмову і відновлення розглядати не для ПАЗМ а для ГФК. При розрахунках доцільно представити процес як обслуговування фіктивної заявки із моменту початку обслуговування до моменту $t_{вдм j}$ і тривалістю до завершення обслуговування без урахування t_{vj} конкретного ФК, бо обов'язково застосовується інший маршрут. Якщо в цьому випадку значення часу $t_{вдм j}$ і t_{vj} як моменти завершені до початку моменту t_j - обслуговування чергової заявки, те це спрощує моделюючий алгоритм ТКМ за відсутність пошуку додаткового шляху і зменшує навантаження на мережу, що дозволяє раціонально використовувати ресурс і однозначно вирішити долю заявки, що поступила знаходячись в черзі. Для підтвердження такого висновку наведено приклад побудови операторної моделі мережі при моделюванні відмов і відновлень ПАЗМ, що утворюють ГФК галузей ІНЗ в ТКМ у другий спосіб.

Для побудови спрощеного алгоритму використані наступні оператори:

- Φ_{40} - формування випадкових моментів $t_{вдм i}$ часу перших відмов ПАЗМ;
- Φ_{41} - формування випадкових чисел t_{vj} відповідних часу відновлення ПАЗМ, що відмовили в моменти $t_{вдм i}$;
- A_{42} - визначення моментів часу t_{ri} готовності ФК до обслуговування наступних заявок;
- A_{43} - вибір із сукупності $\{t_{зднi}\}$ мінімального часу появи відмов ПАЗМ;
- A_{44} - визначення номера галузі NB, якому відповідає момент $t_{вдм i}$ відмови ПАЗМ;
- A_{45} - перевірка умови $t_{зднi} \leq T$, де T - границя інтервалу часу, відповідна до етапу функціонування ІНЗ у ТКМ;
- K_{46} - запис в лічильник числа відмов ГФК;
- A_{47} - визначення номера, що відмовив АПЗЗ, який утворює ГФК, проміжний НК гілки NB;
- A_{48} - заняття ГФК на час t_{vi} ;
- A_{49} - формування значень чергових відмов ФК $t_{здн i}$;

- A_{50} - формування чергових моментів t_{vi} ;
- A_{51} - визначення чергового t_{ri} ;
- P_{52} - перевірка умови $S > 0$, тобто перевірка наявності відмов ФК для поточної реалізації;
- A_{53} - перехід до чергової реалізації;
- A_{54} - обробка результатів моделювання;
- A_{55} - закінчення обчислень.

Тоді спрощену операторну модель ТКМ можна представити так:

$$U_1 = \Phi_{40} \Phi_{41} A_{42} \downarrow^2 A_{43} A_{44} P_{45} \uparrow^1 K_{46} A_{47} A_{48} \Phi_{49} A_{51} \omega \uparrow^2 \downarrow^1 P_{52} \uparrow^3 A_{53} \omega \uparrow^2 \downarrow^3 A_{54} A_{55} \quad (3)$$

Робота алгоритму за (3) здійснюється наступним чином. Оператор Φ_{40} формує $t_{вдм i}$, використовуючи заданий закон розподілу, який відповідають випадковим моментам часу настання перших відмов ПАЗМ утворюючих ГФК для всіх галузей ТКМ. Для отриманих значень $t_{вдм i}$ за допомогою оператора Φ_{41} проводиться формування випадкових відрізків часу t_{vi} відновлення ПАЗМ. Оператор A_{42} визначає час готовності ГФК до роботи t_{ri} за (2). Після цього починається процес визначення відмов ПАЗМ для поточної реалізації. При цьому із сукупності $\{t_{здн i}\}$ оберається мінімальний час відмови ПАЗМ (оператор A_{43}). За значенням t_{min} , визначається номер галузі, у якій настала відмова ПАЗМ (оператор A_{44}). В подальшому оператором P_{45} перевіряється відповідність часу відмови ФК межах інтервалу реалізації T .

Якщо умова оператора P_{45} виконується, тобто $t_{здн min} \leq T$, то підраховується кількість відмов за реалізацію S (оператор K_{46}), визначається номер ПАЗМ, що відмовив (оператор A_{47}), а оператором A_{48} - ФК який потрібно задіяти на час t_{vi} . Після цього оператор Φ_{49} формує випадкові моменти часу чергових відмов $t_{вдм i}$ і відновлень t_{vi} для галузей NB і керування передається до оператора A_{43} , тобто до визначення чергової відмови ПАЗМ.

При невиконанні умови, що перевіряється оператором P_{45} , тобто якщо час чергової відмови ПАЗМ лежить за межами інтервалу реалізації $t_{здн min} \leq T$, оператор P_{52} здійснює перевірку наявності відмов ПАЗМ для S . Якщо $S > 0$, то керування передається до оператора A_{54} , відповідно до якого проводиться обробка результатів, а оператором A_{55} проводиться видача результатів. Якщо $S = 0$, то здійснюється підготовка до чергової реалізації (оператор A_{53}), після чого керування передається до оператора A_{43} і процес повторюється. Функціонування алгоритму U_2 , що моделює відмови й відновлення ПАЗМ, здійснюється під управлінням алгоритму U_1 обслуговування, що відображає процес появи заявок на обслуговування але порівняння (1) та (3) підтверджує висновок про спрощення алгоритмів і відповідно моделей, що порівнюються.

Висновки

Статистичні дані, що накопичуються в лічильниках, дають можливість оцінити ЕН і відмовостій-

кість ІНЗ, а за їх даними здійснювати прогнозування і попередження відмов.

Основними перевагами обраного математичного апарата оцінки ЕН і відмовостійкості ТКМ методом операторного моделювання є максимальне наближення отриманих результатів до статистичних даних експериментальних випробувань такої мережі.

Операторна модель уніфікована і не залежить від виробника обладнання та часу випуску ПАЗМ, їх класу та функціонального призначення, тому її слід вважати додатково такою, що легко адаптується до особливостей мереж за різним призначенням, змінним вимогам та вхідним даним.

Запропонована модель надає:

1) можливість оцінки ЕН і відмовостійкості ТКМ на етапі її проектування, а саме виконанні моделювання, тобто складання адекватної моделі процесу функціонування мережі для подальшого виконання процедур аналізу, синтезу і оптимізації ТКМ;

2) економію у витраті робочого часу й матеріальних засобів на реалізацію статистичної моделі в порівнянні з натурним експериментом;

3) спрощення і скорочення розрахунків. При розрахунках ЕН і відмовостійкості декількох варіантів ТКМ одного класу не потрібно значних змін програми; змінюються лише деякі вихідні дані, що характеризують обраний варіант ТКМ.

Таким чином, проведені за допомогою розробленої моделі дослідження, показали її працездатність.

Основний недолік цього методу полягає в тому, що в кожному окремому машинному експерименті

він дає результат лише для однієї визначеної структури ТКМ і певних умов її функціонування. Для одержання загальних результатів необхідно багаторазове повторення моделювання із поступовим наближенням до адекватності.

Напрямки подальших досліджень. Запропонована модель є складовою частиною і основою для розробки методики оцінки ЕН і відмовостійкості ТКМ з метою визначення вимог до автоматизованих систем управління мереж, підвищення ефективності управління та забезпечення високої якості обслуговування користувачів особливо на етапі зростання кількості і різноманітності послуг.

Список літератури

1. Барабаш Т.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей: учебное пособие. Часть 1. Т.Н. Барабаш, И.Н Соловская /: Одеса ОНАС: 2009 – 323с.
2. Шиян А.А. Модель створення автоматизованих систем управління технологічним процесом з використанням математичних операторів у інформаційному просторі/ А.А. Шиян, Ю.Є. Яремчук, Л.О. Нікіфорова, В.Х. Касіяненко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.- 2015. – № 1. С. 236-239.
3. Dorf R. C. Modern Control Systems / R. C. Dorf, R. H. Bishop. – New York : Prentice Hall, 2010. – 1104 p.
4. Федюнін С.А. Потоки відмов відновлювальних систем/ С.А. Федюнін // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №1. С. 66-73.

Надійшла до редколегії 29.09.2015

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

ОПЕРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ КОММУТИРУЕМОЙ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ

Л.Н Беркман, С.А. Федюнин, С.А. Серых

В статье приведена модель телекоммуникационной сети, которая рассматривается как сложная система подверженная отказам различного типа и проведена оценка влияния ее состояния и связей на надежность. Определены существенные связи модели и влияние поддержания их работоспособности на показатели надежности сети в целом. Полученные выражения позволят быстро и полно оценить надежность сети и выдвинуть верные требования к системам автоматизированного управления сетью с целью дальнейшего повышения эффективности качества управления и обеспечения ее высокой надежности. Предложенная модель дает возможность оценки эксплуатационной надежности и отказоустойчивости телекоммуникационной сети на этапе ее проектирования, а именно выполнения моделирования, то есть составления адекватной модели процесса функционирования сети для дальнейшего выполнения процедур анализа, синтеза и оптимизации. При этом упрощения и сокращения расчетов надежности и отказоустойчивости нескольких вариантов сетей одного класса не требует значительных изменений программ, меняются только некоторые исходные данные, характеризующие выбранный вариант сети.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, отказоустойчивость, операторная модель.

THE OPERATOR MODEL PUBLIC SWITCHED TELECOMMUNICATION NETWORK AND ITS RELATIONSHIP AFFECTING THE CALCULATION OF RELIABILITY INDICES

L.N. Berkman, S.A. Fedunin, S.A. Serikh

The article presents the operator model of the telecommunications network, which is seen as a complex system prone to failures of various types and assessed the influence of network condition on its reliability. Determined significant when the model and the effect of keeping them in working on the reliability of the network as a whole. The resulting expressions will allow you to quickly and fully assess the reliability of the network and to propose the right requirements for automated network management to further improve the efficiency of quality control and ensure its high reliability. The proposed model enables the assessment of operational reliability and resiliency of telecommunications networks at the design stage, namely the simulation run, i.e. the preparation of an adequate model of process of functioning of a network for the further implementation of the procedures of analysis, synthesis and optimization. At the same time simplify and reduce calculations of reliability and fault tolerance of several variants of networks of the same class does not require significant software changes, change only some basic data describing the selected network option.

Keywords: operational reliability, fault tolerance, operator model.

УДК 004.056:004.738.5

Р.В. Гришук¹, К.В. Молодецька²¹ Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Житомир² Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ПОШИРЕННЯ КОНТЕНТУ Й ЗАПИТІВ НА НЬОГО ЗА ДАНИМИ КОНТЕНТ-АНАЛІЗУ ПОВІДОМЛЕНЬ У СОЦІАЛЬНИХ ІНТЕРНЕТ-СЕРВІСАХ

Запропоновано методологічний інструментарій для прогнозування динаміки поширення контенту й запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у соціальних інтернет-сервісах. Застосування метрики самоподібності дозволило виявити постійну складову контент-функції і встановити її природу. В результаті система забезпечення інформаційної безпеки держави набуває нових властивостей для вироблення необхідних механізмів інформаційної протидії.

Ключові слова: соціальний інтернет-сервіс, актори, контент-функція, деструктивний інформаційний посыл, показник Херста, інформаційна безпека, прогнозування, синергетичне управління.

Вступ

У сучасному високотехнологічному суспільстві постійно зростає роль соціальних інтернет-сервісів (СІС) як інструмента масової електронної комунікації між його суб'єктами – громадянами [1–6]. Можливості СІС також використовуються учасниками віртуальних спільнот – акторами [4] й для реалізації особистісних і групових інтересів як окремо взятих громадян та їх соціальних утворень, так і провідних держав світу. Вивчення досвіду подій, які відбулися під час “Арабської весни” [7–9] та під час “Кольорових революцій” [7, 10] дозволяє зробити висновок про те, що СІС відіграють не останню роль і в державоутворюючих процесах.

У період збройної агресії Російської Федерації проти України [11] СІС стали одними з найдієвіших інструментів “гібридної війни” [12, 13]. Так поширення в СІС недостовірною та упередженого контенту призводило й надалі призводить до суттєвого збільшення кількості загроз інформаційній безпеці держави [10, 12, 13]. Аналогічна ситуація характерна і формуванню акторами запитів на відповідний контент. Тому організація ефективної інформаційної протидії неминуче пов'язана зі знаходженням в СІС контенту або запитів на такий контент, що містять такі деструктивні інформаційні посилювачі, його оцінюванням та прогнозуванням динаміки поширення, тобто вирішенням завдань контент-аналізу [14]. Таким чином, прогнозування динаміки поширення контенту або запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у СІС є актуальним теоретико-прикладним завданням, яке на шляху вирішення проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави, потребує свого розв'язання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–6, 15] показав, що СІС належать до класу складних

нелінійних динамічних систем, а тому їх можна віднести до високоорганізованих систем з багатьма ієрархічними рівнями управління. Як наслідок, суттєво обмежуються можливості застосування відомих математичних методів і моделей для прогнозування динаміки поширення контенту або запитів на нього в СІС. Також у результаті аналізу встановлено, що для розв'язання поставленого вище завдання найбільш адаптованими є основні положення теорії динамічних систем [16–19], оскільки спостережуваний показник взаємодії акторів в СІС є деякою функцією, яку надалі будемо називати контент-функцією. Тобто, *контент-функція* – це функція, яка в часі описує зміну динаміки поширення контенту або запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у СІС.

Основною проблемою на шляху визначення контент-функції є те, що закономірності, які описують динаміку процесів, що досліджуються мають прихований характер. У [20, 21] показано, що найбільш перспективним для розкриття прихованих залежностей і виокремлення у них закономірностей процесів є застосування можливостей інтелектуального аналізу і вилучення даних *Data Mining*. З [21] відомо, що в структурі *Data Mining* виділяють дві групи методів – кібернетичні і статистичні, останні з яких забезпечують реалізацію можливостей з дослідження природи взаємодії акторів СІС на основі аналізу часових рядів. Таким чином, контент-аналіз повідомлень в СІС становить значний інтерес з точки зору подальшого прогнозування динаміки поширення контенту в інтересах забезпечення інформаційної безпеки людини, суспільства та держави.

Метою статті є розроблення нового методологічного інструментарію для оперативного і ефективного вивчення й дослідження динаміки поширення контенту або запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень в СІС.

Виклад основного матеріалу

Припущення. Аналіз динаміки зміни показників взаємодії акторів у віртуальних спільнотах у СІС на основі часових рядів в роботі використано для аналітичного дослідження й подальшої екстраполяції показників взаємодії. Передбачається, що реакція акторів на контент у СІС відбувається із деяким запізненням відносно часу його публікації. Тому динаміка взаємодії акторів у СІС описується часовим рядом із запізненням [19, 20]. Виходячи з описаних вище припущень можливо також припустити, що специфіка поширення контенту в СІС або запитів на нього має деякі стійкі тенденції, які тривають значно довше ніж сам процес, який їх утворює. Даний висновок дозволяє висунути гіпотезу дослідження – прогнозування динаміки поширення контенту й запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у СІС може бути здійснено на основі однієї з відомих метрик самоподібності [22 – 24]. У даній статті в основу такої метрики запропоновано покласти показник Херста [22, 23]. На відміну від

інших метрик самоподібності показник Херста дозволяє встановлювати не тільки трендовість ряду, а й що головне – його природу.

Обмеження. Контент, або запити на нього прогнозування динаміки яких має бути здійснено, містить деструктивні інформаційні посили [10]. Решта контенту в СІС – не розглядається.

Сутність розробленого методу розкрито на рис. 1 у вигляді узагальненої структурної схеми.

Опис узагальненої структурної схеми методу (рис. 1). На акторів віртуальних спільнот у СІС постійно здійснюються цілеспрямовані деструктивні інформаційні впливи, інформаційні посили від джерел загроз інформаційній безпеці, в яких описуються вектором загроз вигляду $D = \{D_1, D_2, \dots, D_\alpha\}$, [10].

Для виявлення відповідного контенту або фіксації кількості запитів на такий контент системою забезпечення інформаційної безпеки використовуються можливості сервісів контент-аналізу повідомлень в СІС.

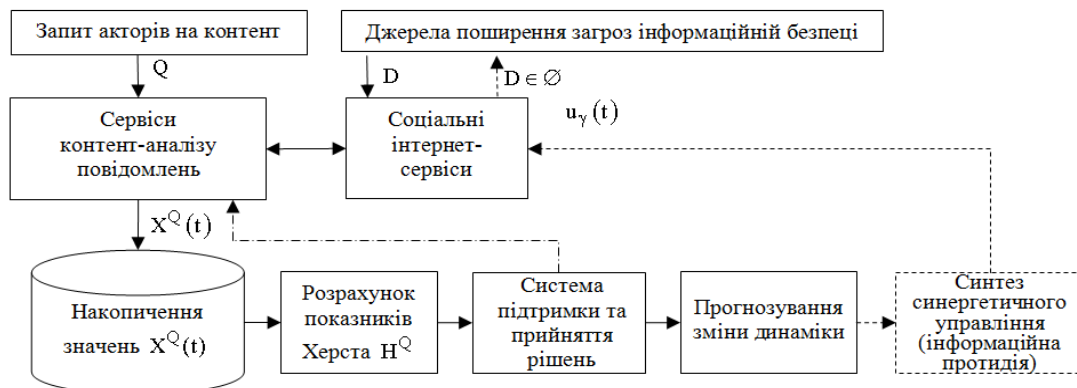


Рис. 1. Узагальнена структурна схема методу

На практиці такими сервісами можуть бути *Socialmention, Стрічка.Ком, InfoStream, Яндекс.Блоги, IQBuzz, YouScan, TweetDeck, Wobot, SemanticForce* [25] тощо або спеціалізовані інформаційно-аналітичні системи такі як *Призма* [26]. Запити акторів в СІС на контент описуються кортежем Q . Як результат генерування запитів на контент й надходження його від відповідних джерел відбувається зміна динаміки процесів взаємодії акторів $X^Q(t)$. За накопиченими даними надалі розраховуються значення обраної метрики самоподібності – показника Херста H^Q . Після аналізу отриманих значень системою підтримки та прийняття рішень на основі визначених правил приймається рішення про доцільність або недоцільність прогнозування динаміки показників взаємодії акторів в СІС з метою вироблення заходів інформаційної протидії – формування синергетичного управління $u_\gamma(t)$, спрямованого на керування параметрами взаємодії акторів в СІС й нейтралізацію джерел загроз інформаційній безпеці $D \in \emptyset$.

У випадку персистентності часового ряду $X^Q(t)$ здійснюється екстраполяція одержаних даних на основі одного з обраних методів. У протилежному випадку екстраполяція не проводиться, а продовжується процедура контент-аналізу згідно зі схемою методу (див. рис. 1).

Зміст методу. *Етап 1. Формування контент-функції* полягає у визначенні множини СІС $A = \bigcup_k A_k$, $k = 1, 2, \dots$, для яких проводиться дослідження поширення контенту акторами віртуальних спільнот або запитів та такий контент, що містить деструктивні інформаційні посили. Встановлюється аспект процесів взаємодії акторів СІС із множини параметрів $K = \bigcup_\beta K_\beta$, $\beta = 1, 2, \dots$ для подальшого вивчення. Такими параметрами взаємодії акторів у СІС є: попит на визначений контент; поширення контенту у віртуальних спільнотах СІС тощо.

Задається семантичне ядро $I = \bigcup_n I_n$, $n = 1, 2, \dots$ деструктивного інформаційного посилу

D_α , яке складається з ключових слів для пошуку контенту в СІС. Контент-функцію визначають на заданому часовому інтервалі T_m , $m = 1, 2, \dots$. Тому в формалізованому вигляді запит до сервісу контент-аналізу публікацій акторів у СІС приймає вигляд кортежу Q :

$$Q = \langle A, K, I, T_m \rangle. \quad (1)$$

У результаті виконання запиту одержується контент-функція $X^Q(t)$, $t = 1, \dots, l$, яка визначається на основі кількості тематичних публікацій акторами обраного контенту з деструктивним інформаційним посилом I_n або запитів на нього.

Етап 2. Розрахунок показника Херста. Полягає у встановленні стабільності контент-функції $X^Q(t)$ залежно від кількості публікацій в СІС й ґрунтується на методі Г. Херста (методі R/S-аналізу). Для цього розраховується показник за виразом [24]

$$H^Q = \log(R/S) / \log(l/2), \quad (2)$$

де H^Q – показник Херста для контент-функції $X^Q(t)$; S – середньоквадратичне відхилення контент-функції $X^Q(t)$; R – розкид накопиченого відхилення

контент-функції $X^Q(t)$; l – кількість спостережень. Середньоквадратичне відхилення S контент-функції $X^Q(t)$ розраховується за виразом

$$S = \sqrt{\ell^{-1} \cdot \sum_{t=1}^{\ell} (X^Q(t) - \bar{X}^Q)^2}, \quad (3)$$

де $\bar{X}^Q = \ell^{-1} \cdot \sum_{t=1}^{\ell} X^Q(t)$.

Розкид накопиченого відхилення R розраховують як

$$R = \max_{1 \leq t \leq l} \tilde{X}^Q - \min_{1 \leq t \leq l} \tilde{X}^Q, \quad (4)$$

де $\tilde{X}^Q = \sum_{t=1}^{\ell} (X^Q(t) - \bar{X}^Q)$.

Етап 3. Прогнозування зміни динаміки контент-функції. Для прийняття рішення про доцільність екстраполяції динаміки поширення контенту в СІС або запитів на нього встановлюється природа досліджуваних процесів. Залежно від характеру інформаційних акцій, ступеня деструктивності поширюваного контенту або запитів на нього, інтенсивності функціонування джерела загроз інформаційній безпеці тощо контент-функції можуть бути віднесені до одного з трьох типів (табл. 1) [19].

Таблиця 1

Природа контент-функції

Тип кореляційної динаміки ряду $X^Q(t)$	Природа процесів поширення контенту або запитів на нього в СІС
випадковий	процеси незалежні і некорельовані, інформаційні акції можуть носити разовий випадковий характер
антиперсистентний (ергодичний)	контент-функція є волатильною і складається із реверсів типу «спад-підйом». Якщо динаміка поширення контенту зростає за поточний період контент-аналізу, то найбільш ймовірним є його спад за наступний період
персистентний	якщо динаміка публікацій контенту або формування запитів на нього зростає (або відповідно зменшується) за період контент-аналізу, то його динаміка поведінки не зміниться й в наступному періоді. Динаміка поширення контенту має стійкий тренд, а інформаційна акція – цільовий характер

Персистентність ряду збільшується зі зростанням показника Херста й наближенням його до своєї верхньої межі, тобто $H^Q \rightarrow 1$. У протилежному випадку прогнозування динаміки не проводиться.

Правила прийняття рішень щодо прогнозування контент-функції ґрунтуються на значенні розрахованого показника Херста H^Q на етапі 2 методу. У формалізованому вигляді правила прийняття рішень з урахуванням [5] наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Правила прийняття рішень

№	Значення показника Херста, H^Q	Рішення щодо прогнозу, W
1	$H^Q = 0,5$	недоцільний
2	$0 \leq H^Q < 0,5$	недоцільний
3	$0,5 \leq H^Q \leq 1$	доцільний

Етап 4. Прогнозування зміни показника взаємодії. Встановлюється функціональна залежність між контент-функцією $X^Q(t)$ і часом t . Для найбільшого узгодження експериментальних даних $X^Q(t)$ і їх найкращого згладжування доцільно використати метод найменших квадратів (МНК). Сутність МНК

полягає в пошуку апроксимуючого багаточлена $P^Q(t)$ за відомою методикою [27], для якого

$$F = \sum_{t=1}^l (P^Q(t) - X^Q(t))^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

На основі побудованого апроксимуючого багаточлена $P^Q(t)$ контент-функції реалізують прогноз динаміки поширення контенту або запитів на нього в СІС. Це дозволяє підвищити оперативність і ефективність управління взаємодією акторів віртуальних спільнот у розрізі попиту на деструктивний контент шляхом завчасного корегування управляючих дій і запобігання реалізації загроз інформаційній безпеці.

Експерименти. Розглянемо реальні інформаційні акції, які мали місце в інформаційному просторі України у 2015 році.

Експериментальні дані: приклад 1. Дослідимо зміну кількості публікацій акторів віртуальних спільнот СІС деякого контенту. З цією метою визначимо динаміку поширення контенту, який містить деструктивні інформаційні посили на тему «Яценюк воював у Чечні», спрямованого на дискредитацію вищого політичного керівництва держави. Запит до контент-

сервісу IQBuzz набуває таких параметрів пошуку: мова документів – документи на будь-якій мові; тип документів – пост, коментар, форум, відео, мікроблог, соціальні мережі; дата створення – за весь час.

Результати роботи запиту до контент-сервісу IQBuzz подано в табл. 3. Розрахунок метрики самоподібності H_Q за даними табл. 3 проведено за виразами (2)–(4) [5] й встановлено, що показник Херста дорівнює $H^{Q_1} = 0,816$. Спираючись на дані табл. 2 можна зробити висновок, що поширення в СІС контенту «Яценюк воював у Чечні» має персистентну (невипадкову) природу, а ряд володіє ознаками тренду.

Таблиця 3
Вихідні дані поширення контенту «Яценюк воював у Чечні»

День	Дата	К-сть повідомлень акторів СІС
1	26.12.2015	76
2	27.12.2015	64
3	28.12.2015	27
4	29.12.2015	27
5	30.12.2015	16
6	31.12.2015	13
7	01.01.2016	9
8	02.01.2016	12
9	03.01.2016	4
10	04.01.2016	4

Засобами табличного процесора MS Excel за МНК побудовано апроксимуючу криву досліджуваної контент-функції $P^{Q_1}(t) = 96,502e^{-0,324t}$. Коефіцієнт достовірності апроксимації дорівнює $R^2 = 0,942$ (рис. 2). На основі отриманої апроксимуючої кривої $P^{Q_1}(t)$ виконано екстраполяцію кількості публікацій на наступні 4 дні (табл. 4). Аналіз табл. 4 показує, що результати прогнозування апроксимуючою кривою $P^{Q_1}(t)$ узгоджуються з експериментальними даними, а кількість публікацій контент в яких вміщує деструктивні інформацій посили зменшується з експоненціальною швидкістю. Отже, для даного прикладу недоцільно витрачати ресурси системи забезпечення інформаційної безпеки держави для організації інформаційної протидії.

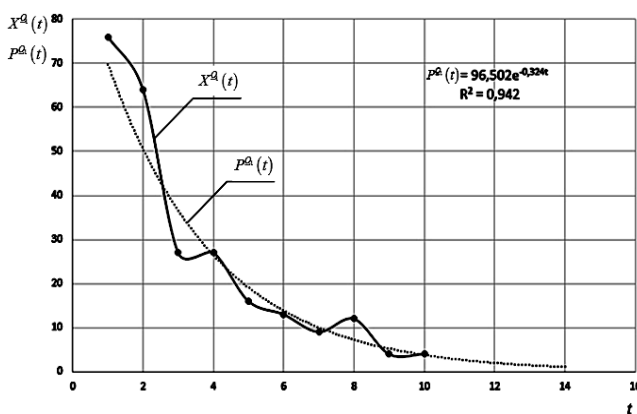


Рис. 2. Динаміка поширення контенту «Яценюк воював у Чечні» в СІС: результати екстраполяції

Таблиця 4
Прогноз динаміки публікацій контенту «Яценюк воював у Чечні»

День	Дата	Прогноз кількості публікацій акторів СІС	Експериментальні значення кількості публікацій акторів СІС
11	05.01.2016	3	2
12	06.01.2016	2	1
13	07.01.2016	2	4
14	08.01.2016	1	2

Експериментальні дані: приклад 2. Проаналізуємо динаміку запитів в СІС на контент «візитка Яроша». Засобами сервісу контекстного пошуку Google AdWords було визначено середню кількість запитів акторів СІС на словосполучення «візитка Яроша» в період з жовтня 2014 р. по вересень 2015 р. із таргетингом території України і використанням пошукового сервісу Google (табл. 5). Показник Херста для даних табл. 5 набуває значення $H^{Q_2} = 0,891$, що свідчить про персистентність ряду і наявність постійної складової. У такому разі вважається за потрібне здійснення процедури прогнозування. У результаті екстраполяції засобами табличного процесора MS Excel за МНК побудовано апроксимуючу криву $P^{Q_2}(t) = 1605,3e^{-0,139t}$ для часового ряду $X^{Q_2}(t)$ зміни попиту акторів СІС (табл. 5) з коефіцієнтом детермінації рівним $R^2 = 0,91$.

Таблиця 5
Вихідні дані попиту акторів на контент «візитка Яроша»

Період	Дата	Кількість запитів акторів СІС, тис.
1	31.10.2014	1,30
2	30.11.2014	1,30
3	31.12.2014	1,00
4	31.01.2015	1,00
5	28.02.2015	0,72
6	31.03.2015	0,88
7	30.04.2015	0,72
8	31.05.2015	0,48
9	30.06.2015	0,32
10	31.07.2015	0,39
11	31.08.2015	0,36
12	30.09.2015	0,35

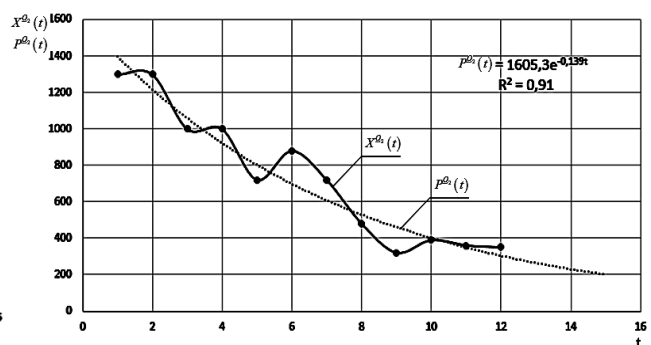


Рис. 3. Динаміка поширення запитів на контент «візитка Яроша» в СІС: результати екстраполяції

З рис. 3 видно, що рівень зацікавленості акторів СІС до шуканого контенту повільно спадає за експоненціальним законом. Для прискорення перехідних процесів й найбільш інтенсивного зменшення попиту на контент «візитка Яроша» відповідно до викладеної в [16] концепції застосовуються принципи синергетичного управління. Так взаємодія акторів у СІС у формалізованому вигляді описується системою нелінійних диференціальних рівнянь вигляду

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = ax - xy - bx^2; \\ \frac{dy(t)}{dt} = -cy + xy, \end{cases} \quad (6)$$

де $x(t)$ – процес, що описує попит акторів СІС на контент, що становить інтерес для досліджуваної віртуальної спільноти; $y(t)$ – процес, що описує пропозицію з надання контенту, що становить інтерес джерелом загроз інформаційній безпеці; a – показник зміни швидкості попиту акторів СІС на контент, що становить інтерес; b – показник зміну стану процесу конкуренції акторів у СІС на публікацію контенту аналогічного за сутністю та змістом; c – показник зміни швидкості пропозиції з надання акторам взаємодії в СІС контенту, що становить інтерес.

Встановлено, що робочі параметри системи нелінійних диференціальних рівнянь (6) приймають значення: зміни швидкості попиту на контент $a = 0,7$; зміна процесу конкуренції $b = 0,45$ і швидкість пропозиції з надання контенту $c = 0,3$. Для регуляризації попиту акторів на контент СІС, пов'язаний зі словосполученням «візитка Яроша» використано модель притягуючого атратора

$$\psi_v(x, y) = \varphi_1 x + \varphi_2 (1 - y/N), \quad (7)$$

де φ_1 , φ_2 – коефіцієнти регуляризації попиту та пропозиції на контент, що становить інтерес в акторів взаємодії в СІС; N – рівень пропозиції з надання контенту, що становить інтерес з урахуванням його цінності. Відповідно до концепції [16] на основі параметра порядку (7) синтезовано синергетичне управління вигляду

$$u_\gamma(x, y) = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} N(ax - xy - bx^2) + \frac{1}{\varphi_2 T_v} N\psi_v(x, y) + cy - xy.$$

Параметрами синергетичного управління $u_\gamma(x, y)$ є: рівень пропозиції з надання контенту $N = 0,35$; параметри регуляризації $\varphi_1 = 0,6$ і $\varphi_2 = 0,3$; тривалість перехідних процесів у системі $T_v = 1$ міс.

Внаслідок організації інформаційної протидії синергетично керований попит на контент, що містить деструктивні інформаційні посилювачі буде змінюватися як показано на рис. 4.

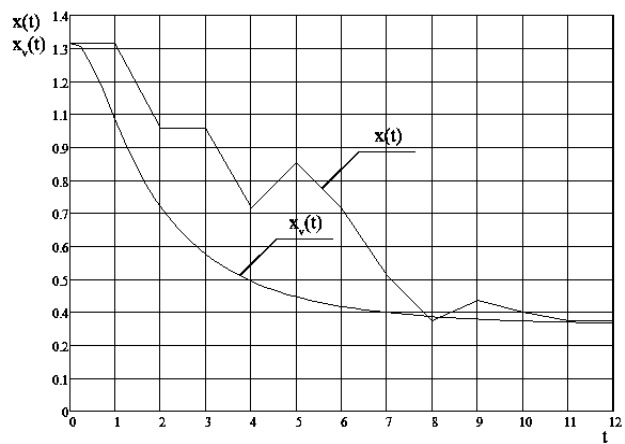


Рис. 4. Зміна динаміки попиту акторів на контент «візитка Яроша»: $x(t)$ – попит на контент, тис. запитів (за даними Google AdWords); $x_v(t)$ – синергетично керований попит, тис. запитів (унаслідок інформаційної протидії)

Таким чином, синергетичне управління попитом акторів на контент сприяє виробленню своєчасних та дієвих механізмів інформаційної протидії з нейтралізації джерел загроз інформаційній безпеці людини, суспільства та держави в СІС.

Верифікація розробленого методу на реальних експериментальних даних контент-аналізу повідомлень в СІС дозволило встановити його переваги. Основними з них є: метод забезпечує виявлення постійної складової в досліджуваних процесах; у разі виявлення ознак персистентності метод дозволяє встановити ознаки тренду ряду; метод створює передумови для організації системою забезпечення інформаційної безпеки держави ефективної інформаційної протидії; впровадження методу сприяє ефективному розподілу витрат ресурсів на функціонування системи забезпечення інформаційної безпеки держави.

Висновки

Вперше розроблено метод прогнозування динаміки поширення контенту й запитів на нього за даними контент-аналізу повідомлень у СІС, який ґрунтується на значеннях метрики самоподібності й забезпечує встановлення природи контент-функції та, у разі потреби, на основі концепції синергетичного управління сприяє виробленню ефективних заходів інформаційної протидії системою забезпечення інформаційної безпеки держави, або в протилежному випадку – сприяє економії витрат ресурсів системи на її функціонування.

Список літератури

1. Hanneman R.A. *Introduction to social network methods* / R.A. Hanneman, M. Riddle. – Riverside, CA: University of California, Riverside, 2005. – 322 p.
2. Scott John. *Social Network Analysis [3-rd edition]* / John Scott. – Sage Publication Ltd, 2016. – 216 p.
3. Пелецишин А. М. *Процеси управління інтерактивними соціальними комунікаціями в умовах розвитку*

інформаційного суспільства : моногр. / А.М. Пелецишин, Ю.О. Серов, О.Л. Березко [та ін.] ; за ред. А. М. Пелецишина. – Л. : Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 368 с.

4. Carrington P. J. *Models and Methods in Social Network Analysis* / P. J. Carrington, J. Scott, S. Wasserman. – Cambridge : Cambridge University Press, 2005. – 344 p.

5. Горбулін В. П. Інформаційні операції та безпека суспільства: загрози, протидія, моделювання : монографія / В. П. Горбулін, О. Г. Додонов, Д. В. Ланде. – К. : Інтертехнологія, 2009. – 164 с.

6. Earl J. *Digitally Enabled Social Change: Activism in the Internet Age* / J. Earl, K. Kimport. – Cambridge: MIT, 2011. – 170 p.

7. Morozov E. *The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom* / E. Morozov. – NY : Public Affairs, 2012. – 448 p.

8. Tufekci Z. *Social media and the decision to participate in political protest: observations from Tahrir Square* / Z. Tufekci, C. Wilson. // *J. Commun.* – 2012. – № 62(2). – P. 363–379.

9. Онищук М. І. Роль соціальних мереж в політичних процесах на близькому сході та в північній Африці / М. І. Онищук // *Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка.* – 2012. – № 28. – С. 15–17.

10. Гіда О. Ф. Соціальні мережі як засіб деструктивних впливів через інформаційний простір / О. Ф. Гіда // *Боротьба з організованою злочинністю і корупцією (теорія і практика).* – 2013. – № 3(31). – С. 268–278.

11. Українська революція гідності, агресія РФ і міжнародне право : моногр. – К. : К.І.С., 2014. – 1016 с.

12. Курбан О. В. Теорія інформаційної війни: базові основи, методологія та понятійний апарат / О. В. Курбан // *ScienceRise.* – 2015. – № 11/1(16). – С. 95–100.

13. Гришук Р. В. Технологічні аспекти інформаційного протистояння на сучасному етапі / Р. В. Гришук, І. О. Канкін, В. В. Охрімчук // *Захист інформації.* – 2015. – Т. 17, №1. – С. 80–86.

14. Иванов О. В. Класичний контент-аналіз та аналіз тексту: термінологічні та методологічні відмінності / О. В. Иванов // *Вісн. Харк. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна.* – 2013. – № 1045. – С. 69–74.

15. Даник Ю. Г. Мобільні соціальні інтернет-сервіси як один із різновидів масової комунікації на сучасному етапі / Ю. Г. Даник, Р. В. Гришук, О. В. Самчишин // *Безпека інформації.* – 2015. – Т. 21, ч. 1. – С. 16–20.

16. Гришук Р. В. Концепція синергетичного управління процесами взаємодії агентів у соціальних інтернет-сервісах / Р. В. Гришук, К. В. Молодецька // *Безпека інформації.* – 2015. – Т. 21, ч. II. – С. 123–130.

17. Молодецька К. В. Спосіб підтримання заданого рівня попиту акторів соціальних інтернет-сервісів на контент / К. В. Молодецька // *Радіоелектроніка, інформатика, управління.* – 2015. – № 4(35). – С. 113–117.

18. Молодецька К. В. Синтез синергетичного управління попитом агентів на контент у соціальних інтернет-сервісах / К. В. Молодецька // *Інформатика та математичні методи в моделюванні.* – 2015. – Т. 5, № 4. – С. 330–338.

19. Рогоза М.Є. Нелінійні моделі та аналіз складних систем : навч. посіб. / М.Є. Рогоза, С.К. Рамазанов, Е.К. Мусаєва. – Полтава : ПВВ ПУЕТ, 2011. – Ч. 1. – 300 с.

20. Колодчак О. М. Інтелектуальний аналіз даних / О. М. Колодчак // *Вісн. нац. ун-ту "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі.* – 2013. – № 773. – С. 49–58.

21. Методы и модели анализа данных OLAP и DataMining / Ф. Барсеян, М. Куприянов, В. Степаненко, И. Холод. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 354 с.

22. Голубев С. Н. R/S-анализ стабильности запаздывающего временного ряда [Электронный ресурс] / Лаборатория фрактального анализа, экологии, программирования. – Режим доступа: <http://labfranep.com/r-s-analiz-stabilnosti-zapazdyvayushchego-vremennogo-ryada> (дата звернення: 25.12.2015). – Назва з екрану.

23. Кронвер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р. М. Кронвер. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

24. Гришук Р. В. Стартап віртуальних спільнот у соціальних мережах за принципом критичної маси / Р. В. Гришук // *Захист інформації.* – 2015. – Спеціальний випуск. – С. 19–25.

25. Халилов Д. Маркетинг в социальных сетях / Дамир Халилов. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 240 с.

26. Алексейчук П. Система слежки PRISM собирала персональные данные через лидеров IT-индустрии [Электронный ресурс] / Проект WebScience.ru. – Режим доступа: <http://webscience.ru> (дата обращения: 25.12.2015). – Название с экрана.

27. Бродський Ю. Б. Інформатика і системологія : [навч. посіб.] / Ю. Б. Бродський, К. В. Молодецька. – Житомир : ЖНАЕУ, 2014. – 244 с.

Надійшла до редколегії 29.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.А. Кучук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОНТЕНТА И ЗАПРОСОВ НА НЕГО ПО ДАННЫМ КОНТЕНТ-АНАЛИЗА СООБЩЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ ИНТЕРНЕТ-СЕРВИСАХ

Р. В. Гришук, К. В. Молодецкая

Предложено методологический инструментарий для прогнозирования динамики распространения контента и запросов на него по данным контент-анализа сообщений в социальных интернет-сервисах. Применение метрики самоподобия позволило выявить постоянную составляющую контент-функции и установить ее природу. В результате система обеспечения информационной безопасности государства приобретает новые свойства для выработки необходимых механизмов информационного противодействия.

Ключевые слова: социальный интернет-сервис, акторы, контент-функция, деструктивный информационный посыл, показатель Херста, информационная безопасность, прогнозирование, синергетическое управление.

THE METHOD TO PREDICT THE DYNAMICS OF THE WEB CONTENT DISSEMINATION AND OF THAT CONTENT ASSOCIATIVE ONLINE SEARCH BEHAVIOR USING CONTENT ANALYSIS OF THE POSTS ON SOCIAL NETWORKING SERVICES

R.V. Hryshchuk, K.V. Molodetska

A methodological tools for predicting the dynamics of content distribution and requests it according to content analysis messages of social Internet services. The use of self-similarity metrics revealed constant component content features and set its nature. As a result, information security system of the state acquires new properties to generate the information mechanisms to counter.

Keywords: social networking services, actors, content-function, destructive outreaches, Hurst exponent, information security, prediction, synergetic control.

УДК 621.396

Н.С. Еремина¹, Ю.В. Самсонов², А.М. Сотников³¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² Національна академія Національної гвардії України, Харків³ Харківський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ТРЕБОВАНИЙ К ПОЛУЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИИ О ПОВЕРХНОСТИ ВИЗИРОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БАЗЫ ДАННЫХ И ПОДГОТОВКЕ ЭТАЛОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Проведен анализ общих подходов к получению и обработке информации о поверхности Земли, а также наполнению баз данных, сформированы условия и требования к эталонной информации об объектах визируемой поверхности.

Ключевые слова: поверхность визирования, информативные признаки, базы данных.

Введение

Постановка проблемы и анализ публикаций.

Получаемые при мультиспектральном дистанционном зондировании данные о поверхности Земли с целью формирования изображений интересующей области и их дальнейшего анализа характеризуются большим количеством спектральных полос и большим объемом массивов данных [1 – 3]. Это приводит к значительному усложнению алгоритмов обработки данных, используемых на данном этапе, поскольку просматриваемые оператором изображения представлены в различных комбинациях спектральных полос, что в свою очередь усложняет оконтуривание интересующих объектов. С целью уменьшения объема данных предусмотрен автоматический анализ полученных снимков, обеспечивающий выявление наиболее информативных спектральных полос. Необходимость данного этапа следует из ограничений, накладываемых оборудованием, которое применяется для последующего поиска объектов. На данном этапе происходит значительное уменьшение объема обрабатываемых данных, что в свою очередь приводит к снижению времени обработки. Затем следует этап выделения характерных признаков анализируемых объектов для построения эталонного изображения объекта, позволяющего осуществлять поиск данного объекта на новых изображениях, с последующей оценкой вероятности обнаружения объекта при его дальнейшем использовании для поиска. Такая оценка позволяет уменьшить вероятность возникновения ошибок при поиске объекта, и, соответственно, снизить временные затраты и затраты материальных средств [1 – 4].

Однако в ряде случаев дефицит времени может приводить к дополнительным ограничениям, среди которых наиболее существенным является невозможность получения нескольких изображений. В результате возникает необходимость уточнения требований к получаемой информации в поле инфор-

мативных признаков, формируемых датчиками различной физической природы (ДФП).

Целью статьи является анализ требований к информации об объектах поверхности визирования при формировании базы данных, необходимой для синтеза эталонов.

Основная часть

1. Общие подходы к получению, обработке информации о поверхности Земли и наполнению баз данных. В общем случае дистанционное зондирование определяют как процесс или метод получения знаний об объекте, участке поверхности или явлении путем анализа данных, собранных без контакта с изучаемым объектом [1, 2]. Для этого могут быть использованы ДРФП, позволяющие дистанционно получать информацию в различных диапазонах волн. Данный метод является одним из наиболее перспективных с точки зрения приобретения знаний о состоянии поверхности Земли.

Знания о земной поверхности можно рассматривать как специальным образом обработанные данные дистанционного зондирования, которые позволяют прогнозировать поведение исследуемого объекта, в то числе и при специальным образом организованных воздействиях. Решение значительной части задач мониторинга на основе данных дистанционного зондирования базируется на использовании методов обработки изображений. Под обработкой изображений понимают процедуры выделения особенностей на изображении и их идентификации на основании выбранных характеристик. Можно указать достаточно много направлений и областей применения методов и алгоритмов обработки изображений в системах космического мониторинга земной поверхности на основе данных дистанционного зондирования, например: системы навигации и наведения, геоинформационные системы, системы пеленгации, системы видеонаблюдения и др. [2, 3].

Одним из основных направлений использования аэрокосмических снимков является картографирование. В последнее время в связи с необходимостью всестороннего анализа экологических проблем материалы аэрокосмической съемки служат источником для создания тематических карт, изучения динамики геосистем. Наличие открытого доступа к снимкам земной поверхности в различных диапазонах, получаемых со спутников WorldView-1, QuickBird, Ikonos, Cartosat, ALOS, EROS, Orbview, SPOT, IRS, TERRA (ASTER), Landsat, и др. определяет широкие возможности по использованию данных дистанционного зондирования Земли [1 – 3].

Приведенные выше примеры применения методов алгоритмов обработки и регистрации изображений указывает на широкий набор средств, которые применяются при обработке данных дистанционного зондирования Земли. Важным является вопрос упорядочивания использования данных средств для организации наиболее эффективного их использования при решении поставленных задач, связанных с анализом информации о земной поверхности. Взаимосвязь разнообразных процессов получения и обработки знаний о земной поверхности целесообразно описать в виде модели получения и обработки информации о земной поверхности на основании данных дистанционного зондирования, полученных от ДРФП.

Обработка снимков земной поверхности предполагает выделение особенностей (изменений) объектов ПВ в поле информативных признаков, используемых датчиков. Независимо от используемых для дистанционного зондирования ДРФП, получаемая текущая информация может быть представлена посредством информативных параметров, измеряемых ДРФП. При этом, полезная информация, получаемая в процессе дистанционного зондирования, состоит в определении яркостных, контрастных, структурных (геометрических) информативных параметров, распределение которых в пределах визируемой поверхности (ВП) будем называть информативными полями. Исследование указанных информативных полей осуществляется после формирования изображений ВП путем сравнения с информацией, имеющейся в базе данных о ВП. Пополнение базы данных должно осуществляться только достоверной информацией, исключающей внесение сведений, имеющих случайный характер. При этом должен учитываться фактор старения информации. Таким образом, формируемая база знаний позволяет определять, модифицировать и пополнять знания, представленные в цифровом виде о земной поверхности.

Центральное место в формируемой базе данных о земной поверхности принадлежит правилам, которые определяют порядок дешифрирования информации дистанционного зондирования, получаемой от ДРФП и наполнения базы данных

Под дешифрированием снимка понимается процесс обнаружения локализации и классификации

объектов в соответствии с принятой в решаемой задаче совокупностью классов. Применение ДРФП и представление изображений ПВ через совокупность информативных параметров яркости, контраста и структуры объектов и фонов обуславливает необходимость усовершенствования методов дешифрирования результатов дистанционного зондирования, основанных на применении компьютерных методов обработки изображений, в том числе и методах, рассматриваемых в работах [4, 5].

Для эффективного решения задач классификации и распознавания исходные снимки земной поверхности необходимо подвергать предварительной обработке с целью повышения визуального качества, комплексирования и совмещения. В предварительную обработку изображений входит:

- 1) фильтрация шумов различного происхождения;
- 2) фильтрация с целью удаления несущественных деталей на изображении;
- 3) масштабирование (прореживание и интерполяция);
- 4) улучшение визуального качества на основе повышения резкости;
- 5) улучшение визуального качества на основе выделения контуров объектов изображений;
- 6) комплексирование и совмещение разномасштабных изображений.

Предлагаемый подход к получению, обработке информации и наполнению баз данных дистанционного зондирования позволяет рассматривать проблему анализа снимков Земли как единую задачу, включающую взаимосвязанные процедуры, обеспечивает возможность предъявления единых требований к подготовке разнообразных данных для выполнения различных процедур обработки изображений земной поверхности, а также использование одинаковых подходов при анализе информативных полей, описывающих результаты дистанционного зондирования, при решении различных типов задач, предполагающих использование информации о текущем состоянии и изменениях земной поверхности.

2. Анализ условий и требований к подготовке эталонных изображений (шаблонов).

2.1. Формирование требований к радиолокационным ЭИ. Очевидно, что формирование требований к эталонным изображениям (ЭИ) независимо от типа информационного поля должно основываться на процессе формирования меры сходства текущего (ТИ) и эталонного изображений. В соответствии с этим требования к ЭИ должны определяться прежде всего:

- 1) электрофизическими характеристиками ВП, формирующими информационное поле.
- 2) влиянием среды распространения на информационные сигналы.
- 3) чувствительностью датчиков информационного поля.

- 4) условиями формирования ТИ.
- 5) алгоритмами формирования РФ.

Кроме того, при определении требований к ЭИ необходимо учитывать, что формирование ЭИ осуществляется с учетом следующих условий:

- получение информации о ВП осуществляется ДРФП;
- возможное присутствие на ВП мешающих, ложных объектов, затрудняющих решение задачи идентификации.

Эти условия определяют требования к этапам синтеза и качеству эталонной информации, получаемой в различных диапазонах волн, среди которых важным является выбор информативных участков на анализируемом изображении. Неудачный выбор эталона может существенно повлиять на результат идентификации. Это происходит, если эталон помещен в области, загороженной на другом изображении, в области с линиями разрыва, в области с периодической текстурой или в области с низким уровнем сигнала (с низкой информативностью). Последний случай встречается наиболее часто.

Для выбора информативных участков ВП при синтезе ЭИ могут быть применены методы, используемые для сравнения ЭИ и ТИ, либо другие методы обеспечивающие локализацию информативных участков изображений по критерию максимума коэффициента корреляции [4]. Перечень локализованных областей привязки должен предусматривать выполнение условий:

1. стабильности наблюдения выбранных объектов на ВП при воздействии суточных, сезонных, погодных и других изменений;
2. устойчивости к воздействию искажений ВП связанных с разрушением объектов, маскировкой, появлением новых, в том числе и ложных объектов.

При использовании для дистанционного зондирования моноскопических датчиков для локализации информативных участков данные должны быть преобразованы в двумерное изображение.

Синтез ЭИ осуществляется на основе системного объединения данных, содержащихся в цифровых картах местности (ЦММ), космических фотографиях и аэрофотоснимках, а также в каталогах информативных признаков (ИП) объектов навигации и окружающих фонов, при этом в ЭИ должен содержаться объем информации, достаточный для функционирования конкретного алгоритма. Каталоги ИП создаются по результатам измерений ИП с помощью радиолокационных (РЛК), инфракрасных (ИК) и телевизионных (ТВ) измерительных комплексов с набором тестовых покрытий и поверхностей в различных погодных условиях. Каталоги ИП представляют собой перечень классов поверхностей с определенными величинами контрастов и температур, либо наборы пар (признаков) покрытий с устойчивыми контрастами (трава - металл, металл - бетон, берег - река и др.).

Общие требования к размеру изображений определяются воздействием искажений на значение пика меры сходства (γ корреляционной функции (КФ)) (рис. 1) и вероятностью ложной привязки $P_{лп}$ (рис. 2) [4, 5].

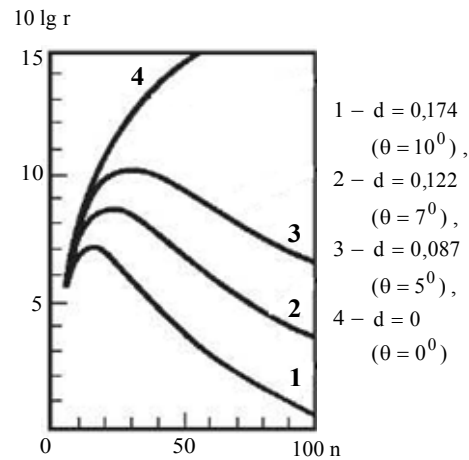


Рис. 1. Зависимость логарифма нормализованного среднего значения пика КФ от размера изображения

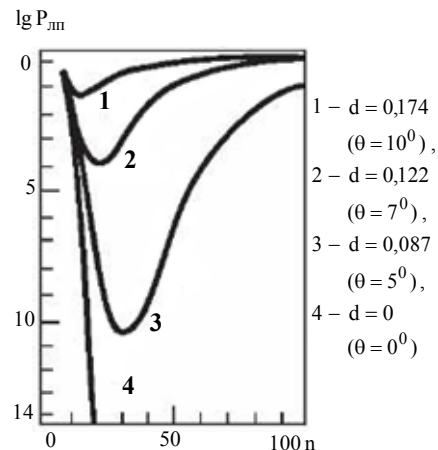


Рис. 2. Зависимость логарифма вероятности ложной привязки от размера изображения

Зависимости $10 \lg \gamma$ и $\lg P_{лп}$ от нормализованного размера изображения n приведены для 4 значений интенсивности искажений

$$d = \sqrt{(1-\alpha)^2 + \theta_n^2},$$

где α - коэффициент изменения масштаба изображения; θ_n - угол взаимного поворота ЭИ и ТИ.

Из рис 1 и 2 видно, что при отсутствии искажений $10 \lg \gamma$ и $\lg P_{лп}$ улучшаются с увеличением размеров изображений.

2.2. Формирование требований к ЭИ инфракрасного типа/ Использование ИК диапазона предполагает использование свойств температурных контрастов нагретых объектов. Для получения ЭИ в интересах ИК датчиков могут быть использованы следующие подходы:

- получение эталонных снимков путем формирования ИК портретов участков поверхности визирования на предполагаемом маршруте движения датчи-

ков дистанционного зондирования с привязкой полученных ЭИ к ЦММ (ЦКМ);

- формирование ЭИ путем совместной обработки и структурного анализа аэрофотоснимков, полученных в видимом либо (и) ИК диапазоне волн;

- обработка и использование в качестве ЭИ цифровых виртуальных моделей местности, дополненных информацией о свойствах объекта в ИК диапазоне волн.

При формировании базы данных в видимом и ИК диапазонах волн полученные изображения должны быть приведены к единым стандартным условиям освещенности, промасштабированы по размеру и иметь единую ориентацию. При создании ЭИ в ИК диапазоне необходимо учитывать отсутствия теней на ИК изображениях объектов и значительную зависимость изображений от времени суток, времени года, погодных условий, возможность возникновения различного рода помех ИК системам (пожары, аномальные погодные условия).

2.3 Формирование требований к ЭИ оптического (телевизионного) типа. ЭИ в видимом диапазоне волн является наиболее универсальным, поскольку они сформированы в более высокочастотном диапазоне и могут быть использованы в качестве дополнительной информации. При создании ЭИ в оптическом диапазоне кроме указанных выше необходимо выполнить следующие требования:

- необходим учет возможных изменений условий получения данных (день, ночь, погодные условия, изменение ВП) путем коррекции ЭИ с использованием поправочных коэффициентов;

- синтез ЭИ должен производиться путем выбора информативных участков ВП, которые обеспечивают потенциально высокую степень совпадения используемых ЭИ с получаемыми ТИ;

- синтез ЭИ должен производиться с учетом объектового состава наблюдаемой сцены, возможной маскировки объектов, их разрушения.

При создании ЭИ по результатам аэрофото съемки могут быть использованы результаты разно ракурсной съемки участков.

Во время съемки ВП возможна ситуация, в которой в поле зрения попадает не целиком искомый

объект, а лишь какой-то его фрагмент. В этом случае, особенно при наличии шума и больших ошибках ориентирования (как следствие, большом размере области поиска объекта) возможны ложные максимумы функции сходства, поскольку посторонние объекты на снимке могут давать больший отклик, чем фрагмент искомого объекта. Улучшение локализации объекта может быть достигнуто путем «склеивания» функций сходства искомого объекта по нескольким снимкам, сделанным последовательно в небольшом временном интервале с разных ракурсов, в одну функцию сходства.

Выводы

1. Анализ общих подходов к получению, обработке информации о поверхности Земли и наполнению баз данных показал необходимость выполнения анализа снимков Земли как единой задачи, включающей ряд взаимосвязанных процедур обработки изображений, а также использования одинаковых подходов при анализе информативных полей, описывающих результаты дистанционного зондирования.

2. Сформулированы условия и определены требования к массивам данных в поле информативных признаков, формируемых датчиками различной физической природы, выполнение которых направлено на обеспечение локализации информативных участков изображений.

Список литературы

1. Рис У. Г. Основы дистанционного зондирования / У. Г. Рис. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
2. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
3. Уэно, Х. Представление и использование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
4. Баклицкий В.К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В.К. Баклицкий – Тверь: ТО «Книжный клуб», 2009. – 360 с.
5. Методы фильтрации сигналов / Под ред. Баклицкого В.К. – Радио и св зь, 1986. – 216 с.

Надійшла до редколегії 2.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

АНАЛІЗ УМОВ І ВИМОГ ДО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПОВЕРХНІ ВІЗУВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ БАЗИ ДАНИХ ТА ПІДГОТОВЦІ ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Н.С. Єрьоміна, Ю.В. Самсонов, О.М. Сотніков

Проведено аналіз загальних підходів до отримання та обробки інформації про поверхню Землі, а також наповнення баз даних, сформувані умови і вимоги до еталонної інформації про об'єкти поверхні, що спостерігається.

Ключові слова: поверхня візування, інформативні ознаки, бази даних

ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND REQUIREMENTS FOR OBTAINING INFORMATION ABOUT THE OBSERVING SIGHT DURING THE FORMATION OF THE DATABASES AND PREPARATION OF THE REFERENCE IMAGES

N.S. Eremina, Y.V. Samsonov, A.M. Sotnikov

The analysis of the general approaches to obtaining and processing information on the Earth's surface as well as to the database provisioning was conducted, the conditions and requirements to the reference information on the observing sight objects were formed.

Keywords: observing sight, informative signs, databases.

УДК 519.87:316.458.6

В.Б. Кононов, Ю.І. Кушнерук, Ю.І. Шевяков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВДАНЬ ПЛАНУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

В статті розглядаються теоретичні засади використання інформаційних технологій стосовно розв'язання завдань планування й управління метрологічним забезпеченням зразків озброєння та військової техніки.

Ключові слова: озброєння та військова техніка, військові засоби вимірювальної техніки метрологічне обслуговування, виїзні метрологічні групи.

Вступ

Постановка задачі. При моделюванні задач планування роботи виїзних метрологічних груп (ВМГ) виникає протиріччя, що пов'язане з необхідністю управління метрологічним забезпеченням Збройних Сил України з однієї сторони та відсутністю теоретичних і прикладних засад побудови та впровадження інтелектуальних інформаційних технологій, які пов'язані з цим питанням. Розв'язанням цього протиріччя стало б створення автоматизованих систем управління метрологічним забезпеченням Збройних Сил України, що на теперішній час стає актуальним завданням для керівного складу регіональних метрологічних частин ЗС України.

Регіональні метрологічні військові частини та видові лабораторії метрологічних підрозділів ЗС України певну частину робіт з метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) здійснюють в місцях їх постійної або тимчасової дислокації.

Для доставки сил та засобів метрологічного обслуговування зразків ОВТ метрологічних частин застосовуються ВМГ зі складу регіональних метрологічних військових частин або військових метрологічних лабораторій видів ЗС України. Метрологічне обслуговування зразків ОВТ здійснюється за допомогою пересувних лабораторій вимірювальної техніки (ПЛВТ).

Якість виконання завдань метрологічного забезпечення істотно залежить від того, як сплановане метрологічне обслуговування зразків ОВТ та яким чином будуть розподілені ВМГ для проведення робіт у військових частинах (підрозділах).

При вирішенні завдань планування метрологічного обслуговування зразків ОВТ в якості вихідних чинників слід враховувати кількість замовлень військових частин на проведення метрологічного обслуговування зразків ОВТ, місця дислокації військових частин і місце дислокації військової метрологічної частини (підрозділу), кількість та типи ВМГ.

Крім того, слід враховувати цільову спрямованість, критерій ефективності (наприклад, мінімум вартісних витрат, мінімум витрат часу, максимум кількості виконаних замовлень на метрологічне обслуговування).

В загальному вигляді задача планування роботи ВМГ є задачею з'ясування їх розподілу, при якому досягається як можливо більше виконання замовлень військових частин на метрологічне обслуговування при мінімальних вартісних (часових) витратах в умовах обмежень на час (кошти).

Одночасно з визначенням розподілу ВМГ для виконання замовлень військових частин визначаються й маршрути їх руху, а в випадку, коли обмеження на час (кошти) не дозволяють повного виконання замовлень, необхідно забезпечити виконання метрологічного обслуговування, насамперед, більш важливих зразків ОВТ з врахуванням особливостей (інтенсивності) їх використання.

Розроблення інформаційних технологій для створення систем підтримки рішень в частині обґрунтування моделей й методів розв'язання оптимізаційних задач сприяє вирішенню завдань щодо автоматизованої переробки інформації та забезпеченню якості управління, що вимагається.

Аналіз літератури. В [1, 2] розглянуті питання організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України. Застосування ВМГ у складі пересувних засобів метрологічного обслуговування викладено в [3, 4]. Математичні моделі й методи визначення оптимальних кількості, плану розподілу й маршрутів руху виїзних метрологічних груп запропоновані в статтях [5 – 7].

Проте наведені математичні моделі планування роботи ВМГ охоплюють лише окремі задачі метрологічного обслуговування зразків ОВТ військових частин (підрозділів) і не дозволяє обґрунтувати методологічні основи використання інформаційних технологій й принципи оптимізації систем управління, що розробляються.

Метою статті є обґрунтування інформаційних технологій для розроблення математичної моделі задач планування метрологічного обслуговування зразків ОБТ стосовно визначення управлінських змінних, зв'язку між ними, способів обробки інформації і методів обґрунтування рішень, що приймаються.

Основний матеріал

При аналітичному моделюванні інформаційної підсистеми підтримки рішень щодо метрологічного забезпечення зразків ОБТ, перш за все, з'ясуємо постійні (задані) та змінні (управлінські) параметри.

До параметрів, які вважаються заданими і уявляють собою вхідну інформацію задачі планування, будемо відносити наступні відомості:

- множина місць дислокації військових частин (підрозділів) у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню, I ;

- множина видів зразків ОБТ, U ;

- множина типів військових засобів вимірювальної техніки (ВЗВТ) зразків ОБТ, J ;

- трохвимірна матриця замовлень на метрологічне обслуговування ВЗВТ кожного типу для кожного виду зразка ОБТ військової частини, Q ;

- трохвимірна матриця сумарної кількості ВЗВТ кожного типу для кожного виду зразка ОБТ військової частини, D ;

- виділені сумарні кошти для метрологічного обслуговування зразків ОБТ і пересування ВМГ для усіх військових частин (підрозділів), C_0 ;

- допустима множина усіх можливих підмножин місць дислокації військових частин (підрозділів) за ВМГ у регіоні з врахуванням вимог або особливостей метрологічного обслуговування зразків ОБТ, S_d ;

- допустима множина усіх можливих підмножин замкнених маршрутів метрологічного обслуговування військових (підрозділів) з врахуванням вимог або особливостей руху ВМГ у регіоні, P_d ;

- множина спеціалізованих та (або) універсальних ВМГ у регіоні, \tilde{K} ;

- питомі норми часу метрологічного обслуговування ВЗВТ усіх типів кожною ВМГ, $\{t_{kj}\}$; $k \in \tilde{K}$; $j \in J$;

- питомі норми вартості метрологічного обслуговування ВЗВТ усіх типів кожною ВМГ, $\{c_{kj}\}$; $k \in \tilde{K}$; $j \in J$;

- календарний фонд робочого часу щодо метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) усіма ВМГ, T_0 ;

- директивний термін виконання метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів) усіма ВМГ, T_d ;

- матриця відстаней між військовими частинами (підрозділами) у регіоні, H ;

- тарифи транспортування виїзних метрологічних груп, $\{c_{k0}\}$; $k \in \tilde{K}$;

- множина коефіцієнтів важливості зразків ОБТ, W ;

- вектор кількостей номерів обслуги за видами метрологічного обслуговування, які є у наявності у регіональній метрологічній частині, V ;

- множина варіантів стану метрологічного забезпечення зразків ОБТ для i -ої військової частини у разі її позитивної оцінки за планом, θ_i , $i \in I$;

- допустима множина варіантів метрологічного забезпечення зразків ОБТ з врахуванням їх коефіцієнтів важливості, $\Theta_d(W)$.

Крім того, необхідно враховувати стан метрологічного забезпечення зразків ОБТ за військовою частину [1].

Введемо управлінські змінні, значення яких будуть визначати план розподілу ВМГ й відповідних маршрутів їх руху, а саме:

- трохвимірна матриця кількостей ВЗВТ кожного типу для кожного виду зразка ОБТ військової частини, які підлягають метрологічному обслуговуванню за планом, Z ;

- множина можливих розподілів військових частин (підрозділів) за ВМГ у регіоні, які підлягають метрологічному обслуговуванню за планом, $\{S_k\}$, $k \in \tilde{K}$;

- множина можливих маршрутів руху ВМГ за планом, $\{P_k\}$, $k \in \tilde{K}$.

З врахуванням введених позначень математична модель задачі планування метрологічного обслуговування зразків ОБТ виїзними метрологічними групами може тут представлена у вигляді:

$$F_{\text{моп}} = F \left(Z, \{S_k\}, \{P_k\}; I, J, U, \tilde{K}, \{t_{kj}\}, \{c_{kj}\}, H, B, c_{k0} \right) \rightarrow \underset{Z, \{S_k\}, \{P_k\}}{\text{opt}}; \quad (1)$$

$$\{S_k\} \in S_d, k \in \tilde{K}; \quad (2)$$

$$\{P_k\} \in P_d; k \in \tilde{K}; \quad (3)$$

$$\Phi(Z, \{P_k\}; I, U, J, \tilde{K}, \{c_{kj}\}, H, c_{k0}) \leq C_0; \quad (4)$$

$$\Psi(Z; I, U, J, \{t_{kj}\}, B) \leq T_0; \quad (5)$$

$$\Omega \left(Z, \{S_k\}, \{P_k\}; I, U, J, \tilde{K}, \{t_{kj}\}, H, B \right) \leq T_d; \quad (6)$$

$$\theta_i \in \Theta_d(Z, I, U, J, Q, D, W); i \in I. \quad (7)$$

Цільова функція $F_{\text{моп}}$ у співвідношенні (1) визначає показник ефективності планування метрологічного обслуговування зразків ОВТ військових частин.

Обмеження (2) та (3) забезпечують виконання вимог або особливостей метрологічного обслуговування зразків ОВТ щодо розподілу ВМГ та маршрутів їх руху відповідно.

Ліва частина співвідношення (4) визначає сумарні вартісні витрати за планом, які не можуть перевищити виділені сумарні кошти.

Ліва частина співвідношення (5) визначає витрати часу роботи обслуги.

Співвідношення (6) забезпечує виконання робіт ВМГ в межах директивного терміну.

Обмеження (7) враховує вимоги щодо позитивної оцінки стану метрологічного обслуговування військових частин (підрозділів).

Висновки

1. Встановлені постійні та змінні параметри, які необхідно враховувати при складанні інформаційного представлення задач планування метрологічного обслуговування.

2. Запропонована математична модель задач планування зразків ОВТ військових частин (підрозділів) визначає порядок і послідовність обробки вхідних параметрів для отримання управлінських рішень.

3. Запропонована математична модель дозволяє обґрунтувати методологічні основи використання інформаційних технологій для автоматизованої переробки інформації в системі управління метрологічним забезпеченням.

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. Кузнецов І. Б., Яблонський П. М. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 : навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, П. М. Яблонський. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.

4. Кузнецов І. Б., Ярошенко О. В. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування : навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, О. В. Ярошенко – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2013. – 360 с.

5. Кононов В.Б. Математична модель задачі визначення оптимального плану розподілу й оптимальних маршрутів руху виїзної метрологічної групи за критерієм мінімуму загального часу метрологічного обслуговування / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал – Вип. № 3 (39). – Харків, 2014. – С. 111 – 113

6. Кононов В.Б. Метод визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп при метрологічному обслуговуванні військових частин та підрозділів / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Д.А. Філістєєв, В.В. Бурцева // Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал – Вип. № 4 (40). – Харків, 2014. – С. 35 – 41.

7. Кононов В.Б. Імітаційна модель визначення оптимального плану й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп // В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Ю.І. Кушнерук, Д.А. Філістєєв // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. ХУПС. – Вип. № 1 (126). – Харків, 2015. – С. 32 – 36.

Надійшла до редколегії 10.06.2015

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.Б. Кононов, Ю.І. Кушнерук, Ю.І. Шевяков

В статье рассматриваются теоретические основы использования информационных технологий при решении задач управления метрологическим обеспечением образцов вооружения и военной техники.

Ключевые слова: вооружение и военная техника, военные средства измерительной техники, метрологическое обслуживание, выездные метрологические группы.

USE OF INFORMATION TECHNOLOGY TO OPTIMIZE TASK SCHEDULING OF METROLOGICAL SERVICE OF WEAPONS AND MILITARY TECHNOLOGY

V.B. Kononov, Yu.I. Kushneruk, Yu.I. Sheviakov

The article deals with the theoretical foundations of information technology in the solution for the management, cottages metrological support of armament and military equipment.

Keywords: armament and military equipment, measuring equipment, metrology on-servicing, offsite metrology group.

УДК 003.26:004.056.55

Н.В. Лада

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

АНАЛІЗ КОРЕКТНОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ПРЯМИМИ ТА ОБЕРНЕНИМИ МАТРИЧНИМИ МОДЕЛЯМИ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

В статті здійснено аналіз результатів обчислювального експерименту по моделюванню прямих і обернених операцій криптоперетворення для використання в матричних алгоритмах. Проведено аналіз і дослідження взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації. Доведено коректність використання синтезованих за результатами обчислювального експерименту моделей операцій в матричних алгоритмах.

Ключові слова: аналіз, взаємозв'язок, матрична модель, матричний алгоритм, операція криптографічного перетворення, операція додавання за модулем два.

Вступ

Постановка проблеми. Захист інформації криптографічними методами залишається одним із найважливіших напрямів діяльності у сфері забезпечення безпеки інформації. Для здійснення основних криптографічних цілей, зокрема забезпечення конфіденційності, цілісності та аутентифікації інформації, необхідно постійно підвищувати ефективність криптографічних методів та алгоритмів, що, в першу чергу, зумовлено збільшенням (об'ємів даних, що передаються) пропускнуої здатності каналів передачі даних.

Отже, актуальною задачею є створення та вдосконалення алгоритмів криптографічного захисту, що використовують в своїй структурі функції криптографічного перетворення здатні обробляти дані великої розмірності. Одним із способів реалізації зазначених функцій є синтез на їх базі матричних моделей операцій криптографічного перетворення. Найчастіше базовими операціями функцій криптоперетворення є перестановки та заміни, а саме криптоперетворення полягає в додаванні до даних, що захищаються, деякої таємної інформації (ключа).

Враховуючи вище зазначене, постає проблема пошуку та синтезу інших операцій перетворення, які можливо застосовувати в якості операції криптографічного додавання з метою розширення множини функцій криптоперетворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] запропоновано метод синтезу базових операцій криптографічного перетворення на основі заміщення однієї або декількох основних елементарних операцій зі збереженням інформативності.

У [2] описаний спосіб побудови математичної моделі матриці декодування з відомої матриці кодування на основі операції суми за модулем два.

Синтез та аналіз групи операцій двохрозрядного криптографічного додавання за модулем два та до-

ведення, що дана група операцій є групою перестановок і може бути використана для збільшення кількості операцій, що застосовуються у блокових та потокових шифрах представлено в [3].

У роботах [4, 5] представлені результати дослідження щодо використання операцій додавання за модулем два та перестановки для реалізації матричних операцій криптоперетворення, а також виявлено, що взаємозв'язки між операціями, що застосовуються для криптографічного перетворення на основі матричних моделей, характеризуються циклічністю. Проте в даних роботах відсутнє підтвердження коректності отриманих результатів, а саме обґрунтування правильності виявлених взаємозв'язків між операціями в матричних моделях, що потребує доведення на основі побудови відповідних їм моделей обернених операцій.

Мета статті – провести аналіз взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації та підтвердити коректність синтезованих моделей операцій за результатами обчислювального експерименту.

Основний матеріал

Систематизовані результати обчислювального експерименту по дослідженню можливості використання операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки операндів в матричних операціях (алгоритмах) криптографічного перетворення інформації були проаналізовані та наведені у вигляді таблиці (табл. 1, O_i^{\oplus} – двооперандна операція додавання за модулем два з урахуванням перестановки, i – номер операції; M_j^k – двохрозрядна матрична модель операції криптографічного перетворення з номером j , відібрана для обчислювального експерименту; $O_i^{\oplus} M_j^k$ – матрична модель операції криптографічного перетворення з операцією O_i^{\oplus}) [5].

$$M_{4(5,3)}^k = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}, \quad \text{тоді } M_{4(5,3)}^d = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix};$$

$$M_{5(5,6)}^k = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix}, \quad \text{тоді } M_{5(5,6)}^d = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_1 \end{pmatrix};$$

$$M_{6(6,3)}^k = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}, \quad \text{тоді } M_{6(6,3)}^d = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus x_2 \end{pmatrix},$$

що відповідає результатам експерименту.

Наведені результати знаходження обернених операцій показали коректність запропонованого підходу щодо перевірки виявлених взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації.

Скористаємося даним підходом для перевірки результатів обчислювального експерименту. Для цього введемо аналогічні позначення для операцій $O_1^\oplus - O_4^\oplus$:

$$O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \oplus y_1 \\ x_2 \oplus y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \oplus y_2 \\ x_2 \oplus y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$O_3^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \oplus y_1 \\ x_1 \oplus y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$O_4^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \oplus y_2 \\ x_1 \oplus y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Введемо позначення $M_x^k | O_y^\oplus |$ де x – номер матричного алгоритму, y – номер операції. Якщо в матричних алгоритмах $M_{1(3,5)}^k - M_{6(6,3)}^k$ використана операція O_1^\oplus (8), тоді операції оберненого перетворення будуть відповідно до виразу (7) мати такий опис моделей як в табл. 2.

Таблиця 2

Операції оберненого перетворення з використаною операцією O_1^\oplus

Матричні алгоритми на основі операції O_1^\oplus (8)	Операції оберненого перетворення згідно виразу (7)
$M_{1(3,5)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{1(3,5)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$
$M_{2(6,5)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 O_1^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{2(6,5)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 O_1^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix}$
$M_{3(3,6)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 O_1^\oplus x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{3(3,6)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 O_1^\oplus x_2 \end{pmatrix}$
$M_{4(5,3)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}$	$M_{4(5,3)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix}$
$M_{5(5,6)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 O_1^\oplus x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{5(5,6)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 O_1^\oplus x_2 \\ x_1 \end{pmatrix}$
$M_{6(6,3)}^k O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 O_1^\oplus x_2 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}$	$M_{6(6,3)}^d O_1^\oplus = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{12} \oplus x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 O_1^\oplus x_2 \end{pmatrix}$

Якщо в матричних алгоритмах $M_{1(3,5)}^k - M_{6(6,3)}^k$ використана операція O_2^\oplus (9), тоді операції оберненого перетворення згідно виразу (7) представлені відповідно моделями (табл. 3).

Якщо в матричних алгоритмах $M_{1(3,5)}^k - M_{6(6,3)}^k$ використана операція O_3^\oplus (10), тоді операції оберненого перетворення будуть відповідно до виразу (7) представлені моделями (табл. 4).

Таблиця 3

Операції оберненого перетворення з використаною операцією O_2^\oplus

Матричні алгоритми на основі операції O_2^\oplus (9)	Операції оберненого перетворення згідно виразу (7)
$M_{1(3,5)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{1(3,5)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$
$M_{2(6,5)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 O_2^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{2(6,5)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 O_2^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix}$
$M_{3(3,6)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 O_2^\oplus x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \end{pmatrix}$	$M_{3(3,6)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 O_2^\oplus x_2 \end{pmatrix}$
$M_{4(5,3)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}$	$M_{4(5,3)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix}$
$M_{5(5,6)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 O_2^\oplus x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \end{pmatrix}$	$M_{5(5,6)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 O_2^\oplus x_2 \\ x_1 \end{pmatrix}$
$M_{6(6,3)}^k O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 O_2^\oplus x_2 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}$	$M_{6(6,3)}^d O_2^\oplus = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 O_2^\oplus x_2 \end{pmatrix}$

Таблиця 4

Операції оберненого перетворення з використаною операцією O_3^\oplus

Матричні алгоритми на основі операції O_3^\oplus (10)	Операції оберненого перетворення згідно виразу (7)
$M_{1(3,5)}^k O_3^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{1(3,5)}^d O_3^\oplus = \begin{pmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$
$M_{2(6,5)}^k O_3^\oplus = \begin{pmatrix} x_1 O_3^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix}$	$M_{2(6,5)}^d O_3^\oplus = \begin{pmatrix} x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 O_3^\oplus x_2 \\ x_2 \end{pmatrix}$

Матричні алгоритми на основі операції O_3^{\oplus} (10)	Операції оберненого перетворення згідно виразу (7)
$M_{3(3,6)}^k O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_1 & \\ \hline x_1 O_3^{\oplus} x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \end{array} \right)$	$M_{3(3,6)}^d O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_1 & \\ \hline x_1 O_3^{\oplus} x_2 \end{array} \right)$
$M_{4(5,3)}^k O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right)$	$M_{4(5,3)}^d O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \end{array} \right)$
$M_{5(5,6)}^k O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_2 & \\ \hline x_1 O_3^{\oplus} x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \end{array} \right)$	$M_{5(5,6)}^d O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_1 O_3^{\oplus} x_2 \\ \hline x_1 \end{array} \right)$
$M_{6(6,3)}^k O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_1 O_3^{\oplus} x_2 \\ \hline x_1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right)$	$M_{6(6,3)}^d O_3^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_2^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \oplus x_4^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{21} \\ x_{11} \oplus x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_2 \\ \hline x_1 O_3^{\oplus} x_2 \end{array} \right)$

Якщо в матричних алгоритмах $M_{1(3,5)}^k - M_{6(6,3)}^k$ використана операція O_4^{\oplus} (11), тоді операції обер-

неного перетворення будуть відповідно до виразу (7) представлені моделями, котрі описані в табл. 5.

Таблиця 5

Операції оберненого перетворення з використаною операцією O_4^{\oplus}

Матричні алгоритми на основі операції O_4^{\oplus} (11)	Операції оберненого перетворення відповідно до виразу (7)
$M_{1(3,5)}^k O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{array} \right)$	$M_{1(3,5)}^d O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \end{array} \right)$
$M_{2(6,5)}^k O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_1 O_4^{\oplus} x_2 \\ \hline x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{array} \right)$	$M_{2(6,5)}^d O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_3^* \\ x_4^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{21} \\ x_{22} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_1 O_4^{\oplus} x_2 \\ \hline x_2 \end{array} \right)$
$M_{3(3,6)}^k O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_1 & \\ \hline x_1 O_4^{\oplus} x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \end{array} \right)$	$M_{3(3,6)}^d O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_1^* \\ x_2^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_1 & \\ \hline x_1 O_4^{\oplus} x_2 \end{array} \right)$
$M_{4(5,3)}^k O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right)$	$M_{4(5,3)}^d O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_2 \\ x_1 \end{array} \right)$
$M_{5(5,6)}^k O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c c} x_2 & \\ \hline x_1 O_4^{\oplus} x_2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_3^* \\ x_4^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \end{array} \right)$	$M_{5(5,6)}^d O_4^{\oplus} = \left(\begin{array}{c} x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c c} x_1 O_4^{\oplus} x_2 \\ \hline x_1 \end{array} \right)$

Матричні алгоритми на основі операції O_4^{\oplus} (11)	Операції оберненого перетворення відповідно до виразу (7)
$M_{6(6,3)}^k O_4^{\oplus} = \begin{pmatrix} x_1 O_4^{\oplus} x_2 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \\ x_{11} \\ x_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \\ x_1^* \\ x_2^* \end{pmatrix}$	$M_{6(6,3)}^d O_4^{\oplus} = \begin{pmatrix} x_3^* \\ x_4^* \\ x_2^* \oplus x_4^* \\ x_1^* \oplus x_3^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ x_{12} \oplus x_{22} \\ x_{11} \oplus x_{21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ x_1 O_4^{\oplus} x_2 \end{pmatrix}$

Наведені перетворення доводять коректність отриманих результатів обчислювального експерименту, а також підтверджують результати теоретичних досліджень по встановленню взаємозв'язків між матричними алгоритмами та матричними операціями при їх взаємному використанні в криптоперетворенні інформації.

Висновки

В статті здійснено аналіз результатів використання операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки операндів в матричних операціях криптографічного перетворення інформації, що підтвердило коректність виявлених взаємозв'язків між операціями.

На основі методу синтезу операцій оберненого матричного криптографічного перетворення доведено збіжність теоретичних та експериментальних результатів досліджень, що отримані при виявленні взаємозв'язків між матричними алгоритмами та матричними операціями в моделях операцій криптографічного перетворення.

Список літератури

1. Голуб С. В. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення на основі додавання за модулем два / С. В. Голуб, В. Г. Бабенко, С. В. Рудницький // Системи

обробки інформації: зб. наук. праць. – Вип. 3 (101), т. 1. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – С. 119–122.

2. Рудницький В. М. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного кодування та декодування інформації / В. М. Рудницький, В. Г. Бабенко, С. В. Рудницький // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – Випуск 4(33). – С. 198–200.

3. Бабенко В. Г. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два / В. Г. Бабенко, Н. В. Лада // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2014. – Вип. 2(118) – С. 116–118.

4. Бабенко В. Г. Аналіз множини операцій синтезованих на основі додавання за модулем два / В. Г. Бабенко, Н. В. Лада, С. В. Лада // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації: тези доп. П'ятої міжнародної науково-практичної конференції, 19–21 квітня 2016 року. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 54–57.

5. Бабенко В. Г. Дослідження взаємозв'язків між операціями в матричних моделях криптографічного перетворення / В. Г. Бабенко, Н. В. Лада, С. В. Лада // Вісник ЧДТУ, 2016. – №1. – С. 5–11.

Надійшла до редколегії 16.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. І. Барсов, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків.

АНАЛИЗ КОРРЕКТНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПРЯМЫМИ И ОБРАТНЫМИ МАТРИЧНЫМИ МОДЕЛЯМИ ОПЕРАЦИЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Н. В. Лада

В статье осуществлен анализ результатов вычислительного эксперимента по моделированию прямых и обратных операций криптопреобразования для использования в матричных алгоритмах. Проведен анализ и исследование взаимосвязей между прямыми и обратными матричными моделями операций криптографического преобразования информации. Доказано корректность использования синтезированных по результатам вычислительного эксперимента моделей операций в матричных алгоритмах.

Ключевые слова: анализ, взаимосвязь, матричная модель, матричный алгоритм, операция криптографического преобразования, операция сложения по модулю два.

ANALYSIS OF CORRECTNESS OF RELATIONSHIP BETWEEN DIRECT AND INVERSE MATRIX MODELS OF CRYPTOGRAPHIC INFORMATION TRANSFORMATION OPERATIONS

N. V. Lada

The article analyzes the results of a computational experiment on modeling direct and inverse operations of cryptographic transformation for use in matrix algorithms. The analysis and investigation of the relationship between direct and inverse matrix models of cryptographic information transformation operations. It proved the correctness of the use of synthesized according to the results of computational experiment models of operations of matrix algorithms.

Keywords: analysis, relationship, matrix model, the matrix algorithm, operations of cryptographic transformation, the operation of addition modulo two.

УДК 004.4:378.018.43(045)

Л.В. Мирутенко

Європейський університет, Київ

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

На сьогоднішній день існує достатня кількість програмних продуктів, які розроблені для впровадження дистанційної освіти до вищого навчального закладу. Тому кожен вищий навчальний заклад може надавати перевагу тим програмним засобам, які максимально відповідають необхідним критеріям та специфіці навчання. Модель оптимізації комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання побудована на основі метода аналітичних мереж, який надає можливість враховувати особливості та властивості всіх класів програмного забезпечення. Застосування даної моделі дозволяє вирішити завдання оптимізації комплексу програмного забезпечення як задачі багатокритеріального вибору на просторі альтернатив. В результаті отримано оптимальний склад комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання вищого навчального закладу.

Ключові слова: комплекс програмного забезпечення; системи дистанційного навчання; метод аналітичних мереж; оптимізація, програмні засоби.

Вступ

Дистанційне навчання у вищій освіті України переходить від фази наукових досліджень до практичного застосування. В основі дистанційної освіти вищого навчального закладу лежать системи дистанційного навчання (СДН) [1, 2]. Одним з важливих видів забезпечення СДН є математичне та програмне забезпечення дистанційного навчання, яке отримало назву “комплекс програмного забезпечення” (КПЗ). Існуючі практичні та науково-методичні підходи щодо побудови КПЗСДН мають евристичний характер та базуються на ідеях комплектації програм для сучасних інформаційних систем [3 – 5]. Це обумовлено складністю процесу оптимізації та відсутністю науково-обґрунтованого математично формалізованого апарату оцінювання якості програм, які використовуються в СДН. Умовно їх доцільно класифікувати у вигляді, зображеному на рис. 1.

КПЗ СДН вищого навчального закладу складається з наступних типів програмних засобів [6]: Learning Management Systems (LMS) - системи управління навчальним процесом; Authoring Tools (AT) - комплекси авторських засобів; Web-Communication Tools (WCT) - засоби веб-комунікацій.

Постановка завдання

На даний час оцінити ефективність комплексу програмного забезпечення можливо тільки після затрати великої кількості часу за результатами оцінки якості навчання. А це має певні недоліки. З іншого боку, дослідження математичних моделей якості є першим кроком при вирішенні завдання оптимізації взагалі та зокрема – завдання оптимізації процесу побудови КПЗСДН вищого навчального закладу, який на відміну від інших має певні особливості.

Таким чином, актуальним є удосконалення науково-методичного апарату формування комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання вищого навчального закладу за рахунок оптимізації його складових.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення задачі оптимізації КПЗ СДН, як задачі багатокритеріального вибору на просторі альтернатив доцільно використовувати метод аналітичних мереж [7]. Вирішення завдання оптимізації складу КПЗ методом аналітичних мереж передбачає такі основні етапи [8] (рис. 2).

Першим кроком були обґрунтовані критерії оцінювання рішень, що будуть прийматись. Обґрунтовані критерії на основі методу аналізу ієрархій класифікуються за пріоритетами, для чого складається матриця парних порівнянь. Загальний вигляд матриці парних порівнянь наведений у табл. 1. Клітини матриці, які розташовані по її діагоналі, дорівнюють одиниці ($a_{11} = a_{22} = \dots = a_{ii} = \dots = a_{nn} = 1$). Матриця має властивість оберненої симетричності, тобто $a_{ji} = 1/a_{ij}$, де індекси i та j належать до рядка та стовпця відповідно. При цьому $i, j = \overline{1, n}$ (n – кількість альтернатив). Клітини матриці заповнюються експертами таким чином: якщо елемент A_1 домінує над елементом A_2 , то клітина, яка належить до рядка A_1 і стовпця A_2 , заповнюється числом a_{12} , а клітина, яка відповідає рядку A_2 і стовпцю A_1 , заповнюється оберненим числом, тобто $a_{21} = 1/a_{12}$.

Якщо елементи A_1 і A_2 однакові, то ці дві клітини заповнюються одиницями.

Для проведення експертами парних порівнянь запропонована шкала відносної важливості Сааті [9].

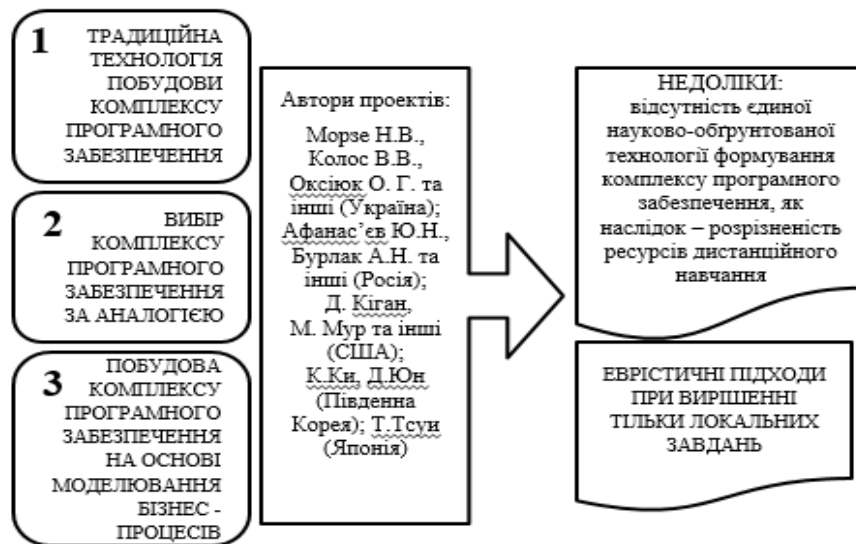


Рис. 1. Підходи щодо побудови комплексів програмного забезпечення системи дистанційного навчання

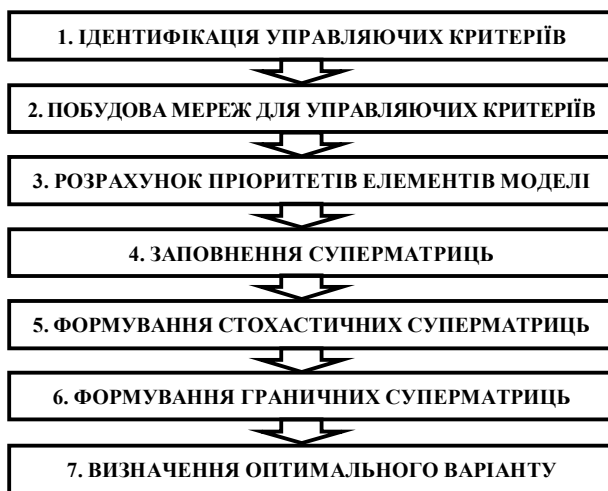


Рис. 2. Модель оптимізації комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь

Альтернативи (варіанти, що порівнюються)	A ₁	A ₂	...	A _j	...	A _n
A ₁	a ₁₁	a ₁₂	...	a _{1j}	...	a _{1n}
A ₂	a ₂₁	a ₂₂	...	a _{2j}	...	a _{2n}
...
A _j	a _{j1}	a _{j2}	...	a _{jj}	...	a _{jn}
...
A _n	a _{n1}	a _{n2}	...	a _{ni}	...	a _{nn}

При залученні для оцінювання варіантів групи з R експертів числове значення судження визначається як геометричне середнє окремих індивідуальних суджень експертів

$$a_{ij} = R \sqrt[R]{\prod_{k=1}^R a_{ijk}}$$

де a_{ijk} – судження k-го експерта.

Призначення експертів проводиться відповідно до їх компетентності у питаннях, які розглядаються,

рівня посади, стажу роботи. Емпірично встановлено, що найбільш оптимальною щодо чисельності є група з 10–15 експертів.

Проведення розрахунків для матриці парних порівнянь здійснюється у такому порядку (на прикладі матриці 3x3, n=3):

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{Bmatrix}.$$

Визначається вектор геометричних середніх:

$$V = \begin{Bmatrix} (a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13})^{1/3} \\ (a_{21} \cdot a_{22} \cdot a_{23})^{1/3} \\ (a_{31} \cdot a_{32} \cdot a_{33})^{1/3} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{Bmatrix};$$

$$V_i = \prod_{j=1}^3 (a_{ij})^{1/3};$$

відшукується нормалізований вектор геометричних середніх (вектор пріоритетів):

$$S_v = \sum_{j=1}^3 V_j; \quad W = \begin{Bmatrix} V_1 / S_v \\ V_2 / S_v \\ V_3 / S_v \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{Bmatrix};$$

визначається власний вектор Λ та його максимальне значення:

$$\Lambda = A \cdot W_i;$$

$$\Lambda = \begin{Bmatrix} a_{11}a_{12}a_{13} \\ a_{21}a_{22}a_{23} \\ a_{31}a_{32}a_{33} \end{Bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{Bmatrix}; \quad \Lambda_{\max} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i;$$

розраховується індекс і відношення узгодженості:

$$IY = \frac{\Lambda_{\max} - 3}{3 - 1}; \quad BV = \frac{IY}{CBV},$$

де СВУ – середня випадкова узгодженість, отримана в OakRidge National Laboratory (багатопрограмна

національна лабораторія науки та техніки департаменту енергетики США) (табл. 3).

По відношенню узгодженості (при ВУ < 0,2) робиться висновок про узгодженість рішень. Класифікація управляючих критеріїв, наведена у табл. 4. Слід

зазначити, що отримані значення векторів пріоритетів управляючих критеріїв при вирішенні задачі формування КПЗ СДН можна застосовувати для усіх класів програмних продуктів, які входять до КПЗ, якщо немає необхідності вчинити по-іншому.

Таблиця 3

Середня випадкова узгодженість

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СВУ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Таблиця 4

Матриця парних порівнянь визначення пріоритетів управляючих критеріїв

ЦІЛЬ	Е	Ф	К	В	Пріоритети
Ергономічність (Е)	1	1/5	1/3	1/5	0,0649
Функціональність (Ф)	5	1	5	3	0,5523
Конструктивність (К)	3	1/5	1	1/2	0,1358
Вартість (В)	5	1/3	2	1	0,2470
					ВУ=0,061

Наступним кроком визначаються пріоритети варіантів допустимих рішень за кожним управляючим критерієм, для чого кожний управляючий критерій описується мережевою структурою, що складається із компонентів та елементів компонентів, які визначають даний управляючий критерій і є аналогами рівнів в ієрархії. Компоненти, пов'язані спрямованими дугами, можуть розташовуватися у довільному порядку. Напрямок впливу одного компонента на інший протилежний напрямку стрілки на дузі, що їх зв'язує. На рис. 3 наведено узагальнене уявлення мережі, яка містить усі можливі види зв'язків між компонентами.

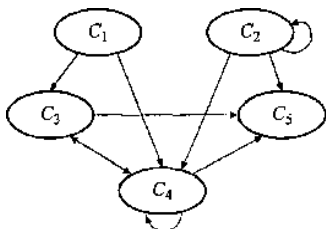


Рис. 3. Узагальнене уявлення мережі

Компоненти, які не мають входів, мають назву джерел, наприклад, C_1 і C_2 . Компоненти, які не мають виходів, такі як C_5 – приймач. Компоненти, які мають входи та виходи, як C_3 та C_4 мають назву транзитних.

В загальному випадку мережа може містити m компонентів $C_h, h=1, \dots, m$. Кожен компонент складається з n_h елементів: $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn_h}$. Вплив елементів одного компоненту на другий елемент мережі можна надати вектором пріоритетів, для отримання якого застосовуються ті самі методи, як у методі аналізу ієрархій, основним з яких є метод парних порівнянь.

Для кожного управляючого критерію будується суперматриця із взаємним впливом елементів в мережі. Слід відмітити, що вплив, який представлений

розрахунком власних векторів пріоритетів, які записуються у суперматрицю, повинен бути вимірний у термінах одного критерію, наприклад, ергономічного. В іншій суперматриці може бути представлено вплив функціонального критерію і т.ін.

Елементи W_{ij} в суперматриці називаються блоками та являють собою матриці виду [8]:

$$W_{ij} = \begin{pmatrix} w_{i_1j_1} & w_{i_1j_2} & \dots & w_{i_1j_{n_j}} \\ w_{i_2j_1} & w_{i_2j_2} & \dots & w_{i_2j_{n_j}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i_{n_i}j_1} & w_{i_{n_i}j_2} & \dots & w_{i_{n_i}j_{n_j}} \end{pmatrix}$$

Кожен стовпчик в матриці W_i являє собою головний власний вектор впливу елементів i -го компоненту мережі на елементи j -го компоненту. Нульові елементи вектору відповідають елементам, які не спричиняють вплив. Тому, проводячи парні порівняння, ми використовуємо не всі елементи компоненту, а тільки ті, які мають вплив.

Далі необхідно суперматрицю перетворити до такого виду, щоб сума елементів в будь-якому її стовпчику дорівнювала б одиниці, виважити суперматрицю. Такі матриці мають назву матриці, стохастичні по стовбцях, або просто стохастичні матриці [9]. Фізична суть виваження суперматриці полягає у наступному: пріоритет елемента в межах конкретного компонента не є адекватним індикатором його пріоритету на множині усіх компонентів. Елемент компонента з максимальним пріоритетом може мати не самий високий пріоритет при розгляді усіх компонентів. Це очевидно, оскільки кожен компонент має елемент з максимальним пріоритетом і усі такі елементи не можуть займати перше місце у системі. Для цього необхідно провести безпосереднє порівняння взаємопов'язаних компонентів згідно їх впливу на кожен компонент системи відносно управляю-

чого критерію більш високого рівня. Кожне порівняння дає вектор пріоритетів впливу усіх компонентів, записаних в суперматриці зліва (імена рядків), на кожен компонент, вказаний зверху (імена стовпчиків). Число порівнянь дорівнює числу компонентів. Власні вектори матриць парних порівнянь компонентів використовуються в якості вагових коефіцієнтів, на які множаться блоки суперматриці, розташовані в стовбці під даним компонентом. Перший елемент вектора множиться на усі елементи першого блока у цьому стовбці, другий – на усі елементи другого блока і т.д. Таким чином виважуються блоки у кожному стовбці суперматриці.

Після виваження суперматриці необхідно визначити поширення впливу по усіх можливих маршрутах графу впливу, якому відповідає суперматриця. Елементи виваженої суперматриці показують безпосередній вплив кожного елементу системи на усі інші елементи. Але елементи можуть впливати один на одного опосередковано, через деякий третій елемент або елементи. Потенційно може існувати множина таких транзитних елементів. Тому необхідно розглянути усі можливі маршрути впливу через транзитні елементи. Оцінку опосередкованого впливу по усіх парах елементів через один проміжний елемент можна отримати, звівши виважену суперматрицю у квадрат (теорема про матриці суміжності та кількість шляхів на графі [9]). Крім того, маршрут впливу першого елементу на другий може включати третій елемент, який впливає на четвертий, а той, в свою чергу, впливає на другий. Усі такі впливи можна побачити у суперматриці, зведеної у куб і т.д. Таким чином, послідовне зведення суперматриці у цілочисельні ступені k дозволяє отримати вектор граничних пріоритетів впливу що не змінюється w^∞ , який дозволяє оцінити вплив компонентів та елементів мережі на управляючий критерій (задану мету). Для перевірки отримання границі $\lim_{k \rightarrow \infty} W^k$ стохастичної матриці W використовуються наступні признаки збіжності [8, 9]:

1) у W немає власних чисел по модулю більших одиниці;

2) існує не більше одного власного числа $\lambda=1$ та, якщо $\lambda=1$, то це єдине власне значення, оскільки стохастична матриця W буде мати тільки одиничні блоки розміром 1×1 у канонічній джордановій формі [9].

Розглянемо підходи щодо отримання границі суперматриці W^k . При цьому можливі три випадки:

1) $\lambda_{\max}=1$ є єдиним коренем;

2) існують інші корені із одиниці, які спричиняють циклічність незалежно від того, чи є $\lambda_{\max}=1$ простим або кратним коренем;

3) $\lambda_{\max}=1$ є кратним коренем.

У випадку, коли немає інших коренів із одиниці та $\lambda_{\max}=1$ є домінуючим по модулю простим коренем і тому $f(\lambda) = \lambda^k$, єдиний корінь у степені k не

прагне до нуля, тому що за формулою Сільвестра при $k \rightarrow \infty$ $1^k \rightarrow 1$. У цьому випадку:

$$W^k \rightarrow \prod_{j \neq i} (\lambda_j I - W) / \prod_{j \neq i} (\lambda_j - \lambda_i) = \frac{\text{adj}(I - W)}{\Delta'(1)}.$$

Більш простий та зручний результат для випадку 1, який краще відомий, отримується наступним чином [8]. Якщо негативна матриця W є примітивною, тоді $\lim_{k \rightarrow \infty} W^k = w e^T$, де w – правий головний

власний вектор матриці W і оскільки W – стохастична матриця, її лівий головний власний вектор буде $e^T = (1, \dots, 1)$. Таким чином, ми знову отримаємо рішення $\lambda_{\max}=1$ для примітивної матриці. Цей результат являє собою стохастичну матрицю, в якій усі стовпчики ідентичні, тобто усі елементи любого рядку однакові. Якщо помножити $w e^T$ справа на стохастичну матрицю W , знову вийде $w e^T$. Це свідчить про досягнення границі. У випадку з циклічним характером результатів неможливо отримати єдиний граничний результат, тому що при зведенні матриці W у ступінь вона циклічно проходить крізь три різні стадії і кожна з цих форм прагне до своєї власної границі, яка відрізняється від двох інших.

$$W = \begin{bmatrix} 0 & W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & W_{23} \\ W_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$W^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & W_{12}W_{23} \\ W_{23}W_{31} & 0 & 0 \\ 0 & W_{31}W_{12} & 0 \end{bmatrix},$$

$$W^3 = \begin{bmatrix} W_{12}W_{23}W_{31} & 0 & 0 \\ 0 & W_{23}W_{31}W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & W_{31}W_{12}W_{23} \end{bmatrix},$$

$$W^{3k} = \begin{bmatrix} (W_{12}W_{23}W_{31})^k & 0 & 0 \\ 0 & (W_{23}W_{31}W_{12})^k & 0 \\ 0 & 0 & (W_{31}W_{12}W_{23})^k \end{bmatrix},$$

$$W^{3k+1} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & (W_{12}W_{23}W_{31})^k W_{12} & 0 \\ 0 & 0 & (W_{23}W_{31}W_{12})^k W_{23} \\ (W_{31}W_{12}W_{23})^k W_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Для отримання граничного результату необхідно розрахувати середнє трьох границь (чезарівську суму), якщо брати за приклад попередню матрицю, тоді розрахунок середнього граничного значення для циклу довжиною c , усереднюючи високі ступені для кожної із послідовних стадій циклу, формально можна подати у такому вигляді:

$$\frac{1}{c} \left[(W^c)^\infty + (W^{c+1})^\infty + \dots + (W^{c+c-1})^\infty \right] =$$

$$= \frac{1}{c} (I + W + \dots + W^{c-1}) (W^c)^\infty; c \geq 2.$$

Якщо стохастична матриця W приводима, тоді умова $(I + W)^{n-1} > 0$ не виконується, необхідно розглянути характеристичне рівняння для визначення, чи є $\lambda_{\max}=1$ простим або кратним коренем. Якщо $\lambda_{\max}=1$ – простий (єдиний) корінь, буде результат, як у першому випадку. Якщо рівняння має кратні корені, граничні пріоритети отримуються, використовуючи формулу Сільвестра для коренів кратності n_1 :

$$W^\infty = \frac{n_1 \frac{d^{(n_1-1)}}{d\lambda^{(n_1-1)}} (\lambda I - W)^{-1} \Delta(\lambda)}{\frac{d^{n_1}}{d\lambda^{n_1}} \Delta(\lambda)} \Big|_{\lambda=1} =$$

$$= W^\infty n_1 \sum_{k=0}^{n_1} (-1)^k \frac{n_1!}{(n_1-k)!} \frac{\Delta^{(n_1-k)}(\lambda)}{\Delta^{(n_1)}(\lambda)} (\lambda I - W)^{-k-1} \Big|_{\lambda=1} =$$

$$= \frac{n_1 \sum_{k=n_1-1}^{n-1} \sum_{h=0}^{k-n_1+1} \frac{(k-h)!}{(k-n_1+1-h)!} p_h W^{n-1-k}}{\sum_{h=0}^{n-n_1} p_h \frac{(n-h)!}{(n-n_1-h)!}},$$

де $\Delta(\lambda) \equiv \det(\lambda I - W) = \lambda^n + p_1 \lambda^{n-1} + \dots + p_n$ та граничним результатом є поліном s W .

При помноженні обох складових рівняння у випадку приводимої матриці на $\lim_{k \rightarrow \infty} W^k$ ліва частина рівняння буде залишатися незмінною. В правій частині матриця W у високій ступені, тому що розг-

лядається ступенева границя, позлотить інші множники, які являють собою ступені матриці W . Проведений аналіз зводить усю множину можливих випадків до двох. Зведення у високі степені стохастичної матриці W та спостереження за зміною пріоритетів. Якщо результати зведення матриці у степені не збігаються до однієї матриці, значення елементів в якій послідовно уточнюються, робиться висновок про існування циклу, при цьому довжина циклу визначається експериментально шляхом порівняння результатів послідовного зведення матриці у ступені. У випадку циклу остаточний результат визначається як чезарівська сума граничних пріоритетів матриць, які входять до циклу.

Кінцевий етап визначення оптимального рішення з множини допустимих рішень буде складатися зі знаходження глобальних пріоритетів альтернатив. Глобальні пріоритети альтернатив обчислюються за такою методикою: значення альтернатив за управляючими критеріями нормуються; нормовані значення помножуються на вагові коефіцієнти управляючих критеріїв; отримані вектори для кожної з узагальнених категорій (колонки 2 – 5) складаються (колонка 6).

В результаті виконаної роботи були отримані наступні глобальні пріоритети варіантів можливих рішень для всіх класів програмних засобів дистанційного навчання (табл. 5-7). У наведених таблицях: стовпець 1 – множина альтернативних варіантів; у колонці 2 стовпець 2.1 – ергономічність; у колонці 3 стовпець 3.1 – ергономічність; у колонці 4 стовпець 4.1 – конструктивність; у колонці 5 стовпець 5.1 – вартість; стовпець 6 – глобальні пріоритети. Стовпці 2.2, 3.2, 4.2, 5.2 – нормоване значення.

Таблиця 5

Глобальні пріоритети варіантів можливих рішень, що оцінювалися для LMS системи управління навчанням

1	Множина управляючих критеріїв								6		
	2	3	4	5	2.1 (0,065)	2.2	3.1 (0,552)	3.2		4.1 (0,136)	4.2
Adobe	0,122	0,27	0,141	0,303	0,05	0,108	0,017	0,034	0,208		
Ilias	0,153	0,338	0,16	0,344	0,181	0,389	0,221	0,444	0,374		
Joomla	0,037	0,082	0,046	0,099	0,05	0,108	0,068	0,137	0,108		
Moodle	0,098	0,217	0,071	0,153	0,147	0,316	0,153	0,307	0,217		
SharePoint	0,042	0,093	0,047	0,101	0,037	0,079	0,039	0,078	0,092		

Таблиця 6

Глобальні пріоритети варіантів можливих рішень, що оцінювалися для АТ авторських засобів розробки

1	Множина управляючих критеріїв								6		
	2	3	4	5	2.1 (0,065)	2.2	3.1 (0,552)	3.2		4.1 (0,136)	4.2
Adobe ES	0,163	0,361	0,189	0,405	0,101	0,217	0,017	0,034	0,285		
CourseLab	0,035	0,078	0,069	0,148	0,062	0,133	0,042	0,083	0,125		
Iliaseditor	0,107	0,237	0,065	0,139	0,128	0,275	0,202	0,401	0,229		
Joomlaeditor	0,037	0,082	0,036	0,077	0,051	0,11	0,05	0,099	0,087		
Moodleeditor	0,073	0,162	0,068	0,146	0,081	0,174	0,153	0,304	0,190		
SharePoint editor	0,036	0,08	0,04	0,086	0,042	0,09	0,04	0,079	0,084		

Глобальні пріоритети варіантів можливих рішень, що оцінювалися для WCT засобів веб-комунікацій

1	Множина управляючих критеріїв								6
	2		3		4		5		
	2.1 (0,06)	2.2	3.1 (0,55)	3.2	4.1 (0,14)	4.2	5.1 (0,25)	5.2	
A-meeting	0,047	0,103	0,048	0,104	0,083	0,181	0,142	0,284	0,159
Adobecon. events	0,111	0,243	0,128	0,276	0,091	0,199	0,03	0,06	0,21
Cisco	0,082	0,18	0,07	0,151	0,077	0,168	0,027	0,054	0,131
Liveconf	0,077	0,169	0,053	0,114	0,064	0,14	0,081	0,162	0,133
Oracle	0,098	0,215	0,114	0,246	0,068	0,148	0,032	0,064	0,186
TrueConf	0,041	0,09	0,05	0,108	0,075	0,164	0,188	0,376	0,181

Висновки

Таким чином, запропонована модель оптимізації комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання, яка базується на відомому методі рішення задачі багатокритеріального вибору на просторі альтернатив – методі аналітичних мереж, дозволяє вирішити завдання оптимізації комплексу програмного забезпечення та отримати оптимальний склад КПЗ СДН.

Список літератури

1. Полотай О. І. Напрями вдосконалення управління проектами запровадження дистанційного навчання у вищому навчальному закладі / О. І. Полотай // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 13.
2. Кравченко Ю. В. Концепція структурування інформаційного ресурсу системи дистанційного навчання / Кравченко Ю. В., Оксіюк О. Г. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К. : 2009. – №1 (4). – С. 6–11.
3. Волосюк Ю.В. Інформаційна технологія підвищення ефективності системи дистанційного навчання на основі структурування інформаційного ресурсу: дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Волосюк Юрій Вікторович;

М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ПВНЗ Європейський ун-т. – Київ, 2012

4. Хальдун Д. Н. Метод построения программного обеспечения систем дистанционного обучения: дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук: 01.05.03 / Хальдун Дакак Набиль. – К., 2006. – 155 с.
5. Тельнов Ю. Ф. Рейнжиниринг бизнес процессов. Компонентная методология / Ю. Ф. Тельнов; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
6. Кравченко Ю. В. Задача синтеза комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання / Ю. В. Кравченко, В. В. Рябцев, М. Г. Тищенко // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці – 2011. – № 61. – С. 111-116.
7. Мирутенко Л. В. Методика оптимізації комплексу програмного забезпечення систем дистанційного навчання / Л.В. Мирутенко // Вісник ЖДТУ. – 2015. – № 4.
8. Саати Т. Л. Принятие решений при зависимости и обратных связях / Т. Л. Саати; Пер. с англ. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Саати Т. – М.: Радио и связь. – 1993.

Надійшла до редколегії 16.07.2015

Рецензент: д-р техн. наук, доцент В.А. Лахно, Європейський університет, Київ.

МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Л.В. Мирутенко

На сегодняшний день существует достаточное количество программных продуктов, разработанных для внедрения дистанционного образования в высшее учебное заведение. Поэтому каждый вуз может отдавать предпочтение программным средствам, которые максимально соответствуют необходимым критериям и специфике обучения. Модель оптимизации комплекса программного обеспечения системы дистанционного обучения построена на основе метода аналитических сетей, который позволяет учитывать особенности и свойства всех классов программного обеспечения. Применение данной модели позволяет решить задачу оптимизации комплекса программного обеспечения как задачи многокритериального выбора на пространстве альтернатив. В результате получен оптимальный вариант комплекса программного обеспечения системы дистанционного обучения высшего учебного заведения.

Ключевые слова: комплекс программного обеспечения; системы дистанционного обучения; метод аналитических сетей; оптимизация, программные средства.

THE MODEL OF OPTIMAL CHOICE OF DISTANCE LEARNING SYSTEM

L.V. Myrutenko

Nowadays there are a sufficient number of software products that are designed for the implementation of distance learning for a higher educational institution. Therefore, each university can choose the software that best meet the necessary criteria and specific training. The model of optimization of distance learning software complex is based on the analytical method for networks, which allows us to consider the peculiarities and capabilities of all classes of software. This model allows us to solve the issue of complex software optimization as the task of multi-choice in the alternatives space. As the result there is an optimal composition of software complex for distance education of a higher educational institution.

Keywords: software complex; distance learning; analytical method for networks; optimization; software.

УДК 004.056.55

Е.В. Фауре, С.В. Сисоєнко, Т.В. Миронюк

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

У статті розглянуто та теоретично обґрунтовано результати дослідження синтезу псевдовипадкових послідовностей на основі використання операції додавання за модулем два та чотири результатів двох, трьох, чотирьох і п'яти випадкових дворозрядних операцій криптографічного перетворення інформації. Побудовано гістограми ймовірностей вироджених і невироджених результатів експерименту в залежності від кількості результатів криптографічного перетворення, які використані для побудови результуючої псевдовипадкової послідовності. Визначено конфігурації перетворення, які дозволяють отримати найбільшу долю вироджених результуючих операцій.

Ключові слова: псевдовипадкова послідовність, операції додавання за модулем, виродженість результатів операцій.

Вступ

Постановка проблеми. Інформація сьогодні розглядається як стратегічний продукт. Якісно зріс обсяг інформаційних потоків, які циркулюють у суспільстві. Ухвалення важливих рішень у промисловості, фінансовій і державній сферах уже неможливе без обробки гігантських масивів інформації. Здатність суспільства та його інституцій збирати, обробляти, аналізувати, систематизувати та накопичувати інформацію, забезпечувати свободу інформаційного обміну є важливою передумовою соціального та технологічного прогресу, чинником національної безпеки, однією з основ успішної внутрішньої та зовнішньої політики. Інформаційна сфера має системотворчий характер і впливає практично на всі галузі суспільних відносин [1].

Таким чином, актуальність проблеми забезпечення захисту інформації в усіх сферах життєдіяльності особи, суспільства та держави (соціальної, політичної, економічної, військової, екологічної, науково-технологічної, інформаційної тощо) слугує підставою для створення нових розробок у сфері інформаційної безпеки та вважається одним із перспективних напрямків наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останній час можна виділити роботи, спрямовані на створення і розвиток теорії криптографічного кодування інформації [2, 3, 4]. Зокрема, для цієї теорії розроблено методи синтезу операцій прямого, оберненого та взаємного криптографічного перетворення (див., наприклад, [4, 5]). Разом з тим, у роботі [6] доведено можливість підвищення стійкості криптографічних систем за рахунок розробки алгоритмів синтезу псевдовипадкових послідовностей на основі використання операцій криптографічного перетворення. Для цього використано процедуру додавання за модулем два результатів двох випадкових не-

роджених операцій криптографічного перетворення інформації. Зауважимо, що процедура додавання за модулем деякого числа M двох або більше псевдовипадкових послідовностей лежить в основі побудови комбінаційного генератора [7], а його ефективність доведена в роботах [8 – 10].

Ця робота продовжує почате в [6] дослідження та збільшує кількість незалежних криптографічних перетворень і модуль M .

Метою роботи є синтез псевдовипадкових послідовностей на основі додавання за модулем M ($M \in \{2, 4\}$) результатів Q ($Q \in \{2, 3, 4, 5\}$) операцій криптографічного перетворення інформації, а також аналіз отриманих послідовностей для теоретичного обґрунтування причин зміни їх якості.

Основний матеріал

Проведемо дослідження сумісного виконання $Q \in \{3, 4, 5\}$ випадкових операцій криптографічного перетворення інформації з подальшим додаванням отриманих результатів за модулем два. Як і в [6], в цій роботі обмежимося 24 дворозрядними операціями криптографічного перетворення. Оцінку отриманих послідовностей будемо виконувати за методикою, наведеною в [6], для чого визначимо долю вироджених операцій перетворення. Під виродженою операцією будемо розуміти результуючу операцію, для якої не існує оберненої операції криптографічного перетворення.

У результаті аналізу 13824 псевдовипадкових послідовностей, отриманих шляхом сумісного виконання трьох операцій криптографічного перетворення інформації з подальшим додаванням результатів кодування за модулем два, встановлено, що в 6144 випадках результуюча операція буде невиродженою, а в 7680 – виродженою. Таким чином, у результаті додавання за модулем два результатів трьох операцій криптографічного перетворення ін-

формації 44,44% результуючих операцій перетворення інформації будуть невиродженими, а 55,55% операцій – вироджені.

Провівши аналіз 331776 результатів криптографічного перетворення інформації, отриманих на основі додавання за модулем два результатів чотирьох операцій, встановлено, що результуюча операція є невиродженою в 47411 (14,29%) випадках. Відповідно, результуюча операція є виродженою в 284365 (85,71%) випадках.

На основі аналізу 7962624 результатів перетворення інформації, отриманих шляхом додавання за модулем два результатів п'яти криптографічних операцій, визначено, що 623473 (7,83%) операцій є невиродженими, а 7339151 (92,17%) операцій – вироджені.

Гістограма ймовірностей вироджених (P_{bo}) і невироджених (P_{nbo}) результатів експерименту в залежності від кількості Q операцій криптографічного перетворення, які використані для побудови результуючої псевдовипадкової послідовності за допомогою додавання за модулем два, представлено на рис. 1.

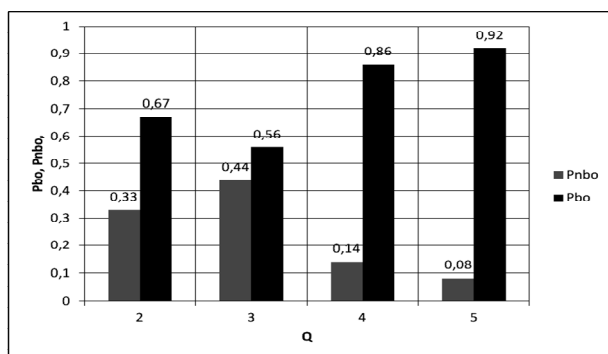


Рис. 1. Гістограма ймовірностей вироджених і невироджених результатів експерименту у випадку використання додавання за модулем два

Аналіз представлених на рис. 1 даних свідчить про те, що псевдовипадкова послідовність, отримана шляхом криптографічного перетворення вхідної інформації паралельно трьома операціями криптоперетворення з наступним додаванням результатів за модулем два, за своїми статистичними характеристиками гірша за аналогічну послідовність, побудовану на основі використання двох операцій. Це пояснюється тим, що в першому випадку використовується 55,55% вироджених операцій, а в другому – 66,66%.

Разом із тим, наступне збільшення кількості операцій криптоперетворення до чотирьох і п'яти призводить до збільшення долі вироджених результуючих операцій та, відповідно, до покращення статистичних характеристик отриманих псевдовипадкових послідовностей.

Проведемо дослідження сумісного виконання $Q \in \{2;3;4;5\}$ випадкових операцій криптографічного

перетворення інформації з подальшим додаванням отриманих результатів за модулем чотири.

Перевірка 576 результатів сумісного виконання двох випадкових невироджених операцій криптографічного перетворення інформації з подальшим додаванням за модулем чотири їх результатів, свідчить, що жодна з операцій не є невиродженою.

Таким чином, можна констатувати, що в результаті додавання за модулем чотири 100% операцій вироджені.

Перетворюючи інформацію трьома випадковими невиродженими операціями з наступним додаванням отриманих результатів за модулем чотири, отримано 13824 послідовностей. Встановлено, що в 6394 (46,25%) випадках результуюча операція є невиродженою, а в 7430 (53,75%) випадках – виродженою.

Провівши аналіз 331776 послідовностей, отриманих на основі додавання за модулем чотири результатів чотирьох операцій криптоперетворення інформації, встановлено, що 54212 (16,34%) результатів є невиродженими, а 277564 (83,66%) – вироджені.

Проаналізувавши 7962624 послідовності, отримані на основі додавання за модулем чотири результатів п'яти операцій криптографічного перетворення інформації, визначено, що в 730173 (9,17%) випадках результуюча операція є невиродженою, а в 7232451 (90,83%) випадках – виродженою.

Гістограма ймовірностей вироджених (P_{bo}) і невироджених (P_{nbo}) результатів експерименту в залежності від кількості Q операцій криптографічного перетворення, які використані для побудови результуючої псевдовипадкової послідовності за допомогою додавання за модулем чотири, представлено на рис. 2.

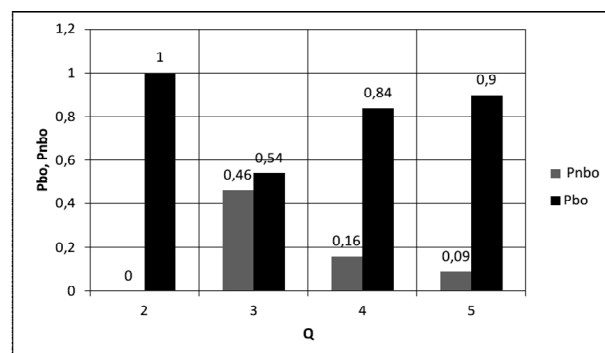


Рис. 2. Гістограма ймовірностей вироджених і невироджених результатів експерименту у випадку використання додавання за модулем чотири

Аналіз представлених на рис. 2 даних свідчить про те, що псевдовипадкова послідовність, отримана шляхом криптографічного перетворення вхідної інформації паралельно двома операціями криптоперетворення з наступним додаванням результатів за модулем чотири, за своїми статистичними характерис-

тиками є найкращою, оскільки усі можливі результуючі операції є виродженими. Збільшення кількості операцій криптоперетворення призводить до стрибкоподібного суттєвого зменшення долі вироджених результуючих операцій (для $Q=3$) з наступним поступовим збільшенням цієї долі (для $Q=4$ і $Q=5$).

Висновки

У результаті проведеного обчислювального експерименту встановлено, що якість псевдовипадкової послідовності чисел, отриманої шляхом криптографічного перетворення вхідної інформації паралельно $Q \geq 2$ операціями криптоперетворення з наступним додаванням результатів за модулем M , відрізняються за своїми статистичними характеристиками.

Отримані результати ймовірностей вироджених і невироджених результатів експерименту в залежності від M і Q свідчать про те, що для $M \in \{2,4\}$ і $Q \in \{2,3,4,5\}$ за своїми статистичними характеристиками є найкращими наступні конфігурації перетворення: для $M=2 - Q=5$ (найгірша – $Q=3$); для $M=4 - Q=2$ (найгірша – $Q=3$).

Список літератури

1. Стратегії розвитку України: теорія і практика / За ред. О. С. Власюка. — К.: НІСД, 2002. — 864 с.
2. Рудницький В.М. Алгебраїчна структура множини логічних операцій кодування / В.М. Рудницький, В.Г. Бабенко, Д.А. Жилієв // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — Х.: ХУПС. — 2011. — № 2(6). — С. 112-114.
3. Рудницький В.М. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного перекодування інформації / В.М. Рудницький, В.Г. Бабенко, С.В. Рудницький // Захист інформації: наук.-практ. журн. — № 3 (56). — К.: НАУ, 2012. — С. 50–56.
4. Рудницький В.М. Узагальнений метод синтезу обернених операцій нелінійного розширеного матричного криптографічного перетворення / В.М. Рудницький,

В.Г. Бабенко, Т.А. Стабецька // Системи обробки інформації. — 2013. — Вип. 6(122). — С. 118-121.

5. Научные технологии в инфокоммуникациях: обработка и защита информации: коллективная монография / Под ред. В.М. Безрука, В.В. Баранника. — Х.: Компания СМІТ, 2013. — 398 с.

6. Ланських Є.В. / Оцінка якості псевдовипадкових послідовностей на основі використання операцій додавання за модулем два / Є.В. Ланських, С.В. Сисоєнко, М.О. Пустовіт // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — Х.: ХУПС, 2014. — №4 (21). — С. 122-125.

7. Лавданский А.А. Комбинационный метод формирования последовательности псевдослучайных чисел [Электронный ресурс] / А.А. Лавданский, Э.В. Фауре // Системный анализ та інформаційні технології: матеріали 16-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2014, Київ, 26-30 травня 2014р. / ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ». — К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2014. — С. 403-404. — Режим доступу: <http://sait.kpi.ua/books/sait2014.ebook.pdf/view>.

8. Лавданский А.А. Оценка статистических свойств последовательностей на выходе комбинационного генератора с помощью графических тестов / А.А. Лавданский, Э.В. Фауре // Системні дослідження та інформаційні технології. — Київ, 2015. №2 - С.39-50.

9. Фауре Э.В. Оценка статистических характеристик последовательности псевдослучайных чисел, порожденной комбинационным генератором / Э.В. Фауре, А.И. Щерба, А.А. Лавданский // Компьютерно-интегрированные технологии: освіта, наука, виробництво. — 2015. — № 18. — С. 165-171.

10. Фауре Э.В. Анализ корреляционных свойств последовательностей (псевдо) случайных чисел [Электронный ресурс] / Э.В. Фауре, А.И. Щерба, А.А. Лавданский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2015. — №1(18) — С. 142-150. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nitps_2015_1_32.pdf.

Надійшла до редколегії 16.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Э.В. Фауре, С.В. Сысоенко, Т.В. Миронюк

В статье рассмотрены и теоретически обоснованы результаты исследования синтеза псевдослучайных последовательностей на основе использования операции сложения по модулю два и четыре результатов двух, трех, четырех и пяти случайных двухразрядных операций криптографического преобразования информации. Построены гистограммы вероятностей вырожденных и невырожденных результатов эксперимента в зависимости от количества результатов криптографического преобразования, которые использованы для построения результирующей псевдослучайной последовательности. Определены конфигурации преобразования, которые позволяют получить наибольшую долю вырожденных результирующих операций.

Ключевые слова: псевдослучайная последовательность, операции сложения по модулю, вырожденность результатов операций.

SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PSEUDORANDOM SEQUENCES BASED ON CRYPTOGRAPHIC TRANSFORMATION OPERATIONS

E.V. Faure, S.V. Sysoienko, T.V. Mironiuk

In the article the research results of synthesis of pseudorandom sequences based on the use of operation of addition modulo two and four of the results of two, three, four and five random two-digit operations of information cryptographic transformation are considered and theoretically proved. Histograms of probabilities of degenerate and nondegenerate experimental results are built depending on the number of cryptographic transformation results used to construct the resulting pseudorandom sequence. The transformation configurations that allow to obtain the largest share of degenerate resulting operations are defined.

Key words: pseudorandom sequence, operation of addition modulo, degeneration of operation results.

УДК 681.321+004.519.217

В.С. Харченко¹, Аль-Судани Мустафа Кахтан Абдулмунем¹, Ю.Л. Поночовный^{1,2}¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков*² *Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава*

МАРКОВСКИЕ МОДЕЛИ ГОТОВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «УМНОГО» ДОМА ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И ОБЩЕМ ОБСЛУЖИВАНИИ ПО НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

В статье рассмотрены вопросы построения марковских моделей и оценки готовности информационно-управляющей системы «умного» дома (smart building automation system, BAS). Определено, что причинами отказов и недоступности компонент архитектуры BAS могут быть как внутрисистемные, так и внешние факторы, среди которых выделены программные дефекты и уязвимости. Последние рассматриваются как элементы двух непересекающихся множеств. Детально проанализированы модели архитектуры BAS с программными дефектами и атакуемыми уязвимостями без процедур обслуживания, с общим и раздельным обслуживанием по надежности (дефекты) и безопасности (уязвимости). Сформулированы рекомендации по выбору стратегий и параметров обслуживания.

Ключевые слова: *информационно-управляющая система, умный дом, программные дефекты и уязвимости, готовность, надежность, безопасность, стратегии обслуживания, марковские модели*

Введение

Развитие технологий виртуализации и создания сред облачных вычислений обуславливают появление новых вариантов архитектуры ИТ-систем, которую необходимо учитывать при оценке и обеспечении качества современных компьютерных систем и сервисов, к которым относятся системы «умный дом». При этом динамический характер процессов информационного взаимодействия существенно усложняет возможности оперативной оценки надежности и доступности программных и инфраструктурных ресурсов, предоставляемых в режиме удаленного доступа [1].

Совокупность подсистем «умных» домов, выполняющих информационные и управляющие функции, рассматривается как система автоматизации здания – жилища, офисного или иного сооружения (building automation system, BAS) [2]. Компоненты BAS могут быть спроектированы с использованием различной элементной базы, включая реализацию управляющих функций нижнего уровня на FPGA-платформе. Архитектура BAS «умного» дома согласно [2] включает урони FPGA, баз данных, и беспроводных коммуникаций (Wireless Unite). Применение на каждом из этих уровней архитектуры программных средств с возможностью их модификации усложняет процесс оценивания и прогнозирования готовности системы, особенно для корпоративных решений. Учитывая критичность последствий отказов системы, обусловленных как отказами программно-аппаратных компонент вследствие их физических и проектных дефектов (фактор надежности), так и атаками на уязвимости (фактор информационной безопасности) BAS [3], необходимо обосновать стратегии

и параметры обслуживания и восстановления, включая модификацию программных средств с учетом этих двух факторов. Одним из ключевых вопросов разработки таких стратегий является вопрос их раздельной или общей реализации с учетом факторов надежности и безопасности [3, 4].

Модификация программных средств вследствие устранения проектных дефектов, патчеризации уязвимостей приводит к изменению параметров потоков отказов и восстановлений системы. Для исследования систем с изменяемыми параметрами предпочтительно применение аппарата марковских и полумарковских процессов [4, 5]. В [6] развит системный подход к построению многофрагментных моделей, а в [5] разработаны модели, в которых учитываются факторы надежности и безопасности для веб-систем. Однако в известных работах не исследовано влияние разных стратегий обслуживания по этим факторам. Поэтому **целью данной статьи** является разработка и анализ моделей готовности BAS при проведении общего и раздельного обслуживания с учетом поэтапного устранения программных дефектов и уязвимостей.

1. Выбор марковских моделей для исследования архитектуры BAS

В процессе исследования процедур планирования и проведения обслуживания программных компонент архитектуры BAS важным этапом является получение количественных значений вероятностных составляющих их готовности. Применение аппарата марковского моделирования связано с определенным набором ограничений [5,7], не позволяющим построить и применить единую унифицированную

модель. Выходом является построение комплекса моделей, в котором каждая модель позволяет получить однообразные результирующие показатели, по которым удобно проводить сравнение и поиск оптимальных решений.

Основным аспектом моделирования функционирования программных компонент архитектуры BAS являются учет проявления и устранения ограниченных множеств программных дефектов и уязвимостей, причем данные множества рассматриваются как непересекающиеся.

Второй аспект – проведение обслуживания, в процессе которого вероятно выявление и устранение как дефектов, так и уязвимостей. Процедуры обслуживания могут проводиться на протяжении всего жизненного цикла BAS, или ограничиваться определенным количеством процедур.

Третий аспект – состав мероприятий обслуживания: они могут быть направлены только на выявление программных дефектов, либо только на выяв-

ление уязвимостей, либо содержать общий комплекс мер по выявлению и дефектов, так и уязвимостей. Множество базовых моделей систематизировано в табл. 1. Далее исследованы первые три модели BAS.

2. Базовая модель готовности архитектуры BAS с учетом программных дефектов и уязвимостей (MBAS1)

Базовая модель описывает процессы проявления и устранения программных дефектов и уязвимостей как разделенные потоки случайных событий. Исходное количество дефектов (Nd) и уязвимостей (Nv) являются входными параметрами модели. Также входными параметрами являются обычные для всех марковских моделей интенсивности случайных потоков событий. В статье рассматривается пример архитектуры BAS, которая на момент ввода в эксплуатацию содержит два программных дефекта и две уязвимости. На рис. 1 представлен ее размеченный граф.

Таблица 1

Множество базовых моделей BAS

Обозначение модели	Количество дефектов	Количество уязвимостей	Количество обслуживаний	Вид обслуживания
MBAS1	0..Nd	0..Nv	0	-
MBAS2	0..Nd	0..Nv	∞	общее
MBAS3	0..Nd	0..Nv	∞	раздельное
MBAS4	0..Nd	0..Nv	0..Np	общее
MBAS5	0..Nd	0..Nv	0..Ndp, 0..Ndv	раздельное

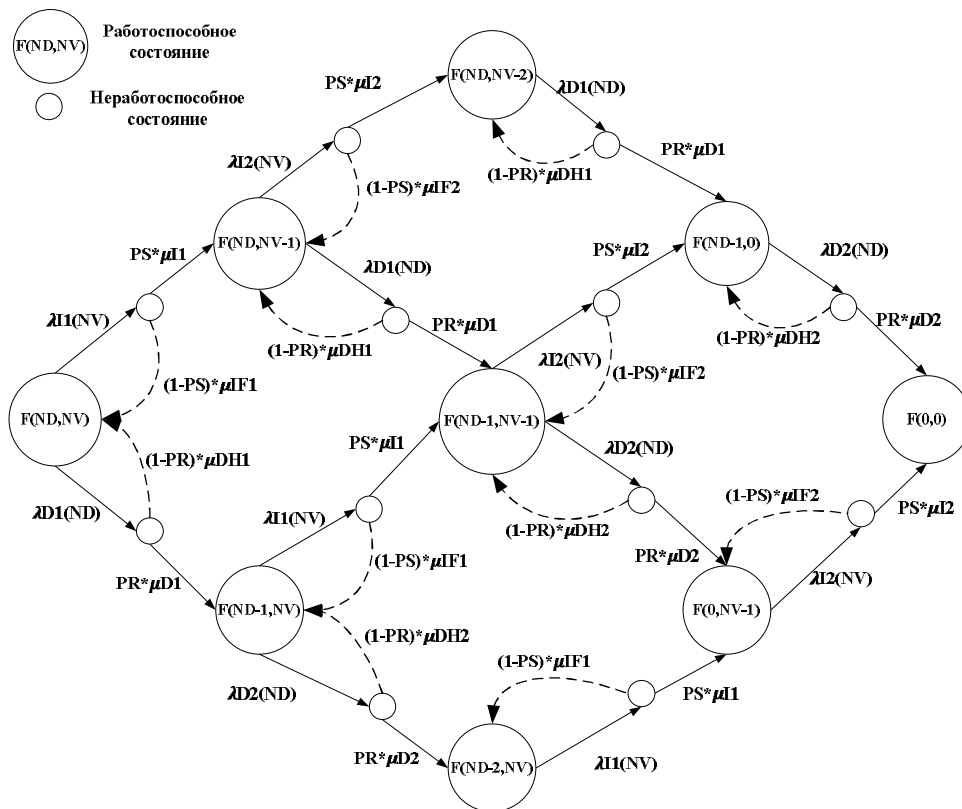


Рис. 1. Размеченный граф базовой модели MBAS1 с учетом проявления и устранения программных дефектов и уязвимостей

Основними являються допущення о простейших потоках отказов и восстановлений, изменяющих состояния системы. После проявления дефекта (или уязвимости) система с вероятностью PR (PS) прекращает работу до их полного устранения. С вероятностью 1-PR (для дефектов) или 1-PS (для уязвимостей) система возвращается в предыдущее работоспособное состояние через рестарт программы. В ходе устранения новые дефекты и уязвимости не вносятся. По мере проявления дефекты и уязвимости постепенно устраняются. Далее в работе рассматривается частный случай функционирования BAS, когда после проявления дефекта или уязвимости система останавливается до их полного устранения (то есть PR=1 и PS=1).

Работоспособные состояния на рис.1 показаны большими окружностями с указанием в них количества дефектов и уязвимостей; неработоспособные состояния показаны малыми окружностями без подписей.

В исходном состоянии F(Nd,Nv) система содержит 2 программных дефекта и 2 уязвимости.

Проявление программных дефектов на графе проиллюстрировано диагональными переходами со

смещением вниз (взвешенными интенсивностями $\lambda Di(Nd)$), а уязвимостей – диагональными переходами со смещением вверх (взвешенными интенсивностями $\lambda J(Nv)$). После проявления уязвимостей выполняется их устранение с интенсивностями $PS*\mu Jj$, соответственно, устранение программных дефектов производится с интенсивностями $PR*\mu Di$. После устранения всех дефектов и уязвимостей система переходит в состояние F(0,0). Рестарт программного обеспечения проиллюстрирован переходами из неработоспособных состояний, взвешенными интенсивностями $(1-PR)*\mu DHi$ и $(1-PS)*\mu IFi$. В последующем эти переходы не рассматриваются так как при PR=1 и PS=1 их интенсивности приравниваются к нулю.

3. Модель готовности BAS с учетом проведения общего обслуживания (MBAS2)

Модель является расширением базовой и включает дополнительные состояния, которые позволяют моделировать проведение процедур обслуживания. Размеченный граф модели показан на рис. 2.

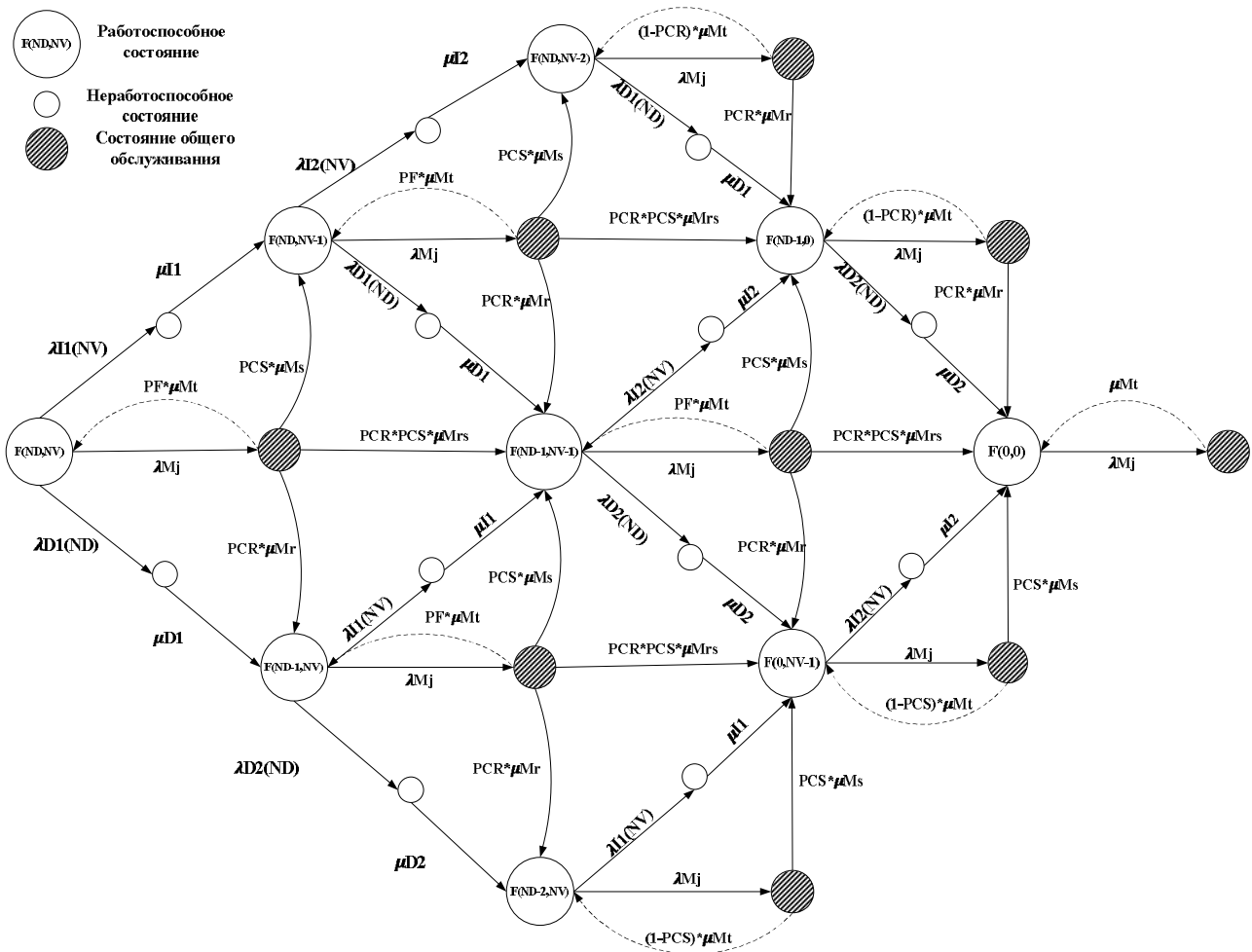


Рис. 2. Размеченный граф модели MBAS2 с учетом общего обслуживания

Помимо перечисленных выше допущений, в модели MBAS2 принято, что в ходе общего обслуживания возможно обнаружение и устранение одного программного дефекта или одной уязвимости.

Состояния, моделирующие процедуры обобщенного обслуживания показаны заштрихованными окружностями. Переходы в состояния обслуживания выполняются из работоспособных состояний с интенсивностью λM_j (интенсивность обслуживания). В процессе проведения мероприятий обслуживания выявление программного дефекта происходит с вероятностью PCR, выявление уязвимости – с вероятностью PCS. Одновременное выявление уязвимости и программного дефекта происходит с вероятностью $PCR \cdot PCS$. Вероятность необнаружения дефектов и уязвимостей PF дополняет предыдущие события до полной группы:

$$PF + PCS + PCR + PCS \cdot PCR = 1.$$

Таким образом, из состояния обслуживания возможны четыре перехода:

а) в случае обнаружения уязвимости с вероятностью PCS выполняется переход по стрелке вертикально вверх, взвешенный интенсивностью $PCS \cdot \mu Ms$, где μMs – величина, обратная среднему времени выявления и устранения уязвимости, $\mu Ms = 1 / (T_{detV} + T_{remV})$;

б) в случае обнаружения программного дефекта с вероятностью PCR выполняется переход по стрелке вертикально вниз, взвешенный интенсивностью $PCR \cdot \mu Mr$, где μMr – величина, обратная среднему времени выявления и устранения дефекта, $\mu Mr = 1 / (T_{detD} + T_{remD})$;

в) в случае обнаружения программного дефекта и уязвимости с вероятностью $PCS \cdot PCR$ выполняется переход по стрелке вправо, взвешенный интенсивностью $PCS \cdot PCR \cdot \mu Mrs$, где μMrs – величина, обратная среднему времени выявления и устранения дефекта и уязвимости, $\mu Mrs = \mu Mr \cdot \mu Ms / (\mu Mr + \mu Ms)$;

г) в случае необнаружения дефекта и уязвимости с вероятностью PF выполняется возвратный переход в предыдущее работоспособное состояние (влево), взвешенный интенсивностью $PF \cdot \mu Mt$, где μMt – величина, обратная среднему времени проведения обслуживания, $\mu Mt = 1 / T_M$.

Следует отметить, что в данной модели рассматриваются операции обслуживания, не предусматривающие прогнозирование количества дефектов и уязвимостей. Поэтому, после устранения всех уязвимостей переходы из состояний обслуживания, моделирующие необнаружение дефекта взвешены не с вероятностью PF, а с параметром $(1 - PCR) \cdot \mu Mt$. Аналогично переходы, моделирующие необнаружение уязвимости после устранения всех программных дефектов, взвешены параметром $(1 - PCS) \cdot \mu Mt$. Крайнее правое состояние, в котором моделируется обслуживание системы без дефектов и уязвимостей имеет соответственно переход, взвешенный параметром μMt .

4. Модель готовности BAS с учетом проведения отдельного обслуживания (MBAS3)

Модель также является расширенной по отношению к базовой и включает дополнительные состояния процедур отдельного обслуживания. В отличие от предыдущей модели, количество состояний обслуживания увеличено вдвое, так как рассматриваются процедуры обслуживания, целью которых является выявление только программных дефектов, и напротив, только уязвимостей. Размеченный граф модели показан на рис. 3.

Состояния, моделирующие процедуры отдельного обслуживания, показаны окружностями с различной штриховкой. Переходы в состояния обслуживания выполняются из работоспособных состояний: в состоянии обслуживания по уязвимостям – с интенсивностью обслуживания λMs , в состоянии обслуживания по программным дефектам – с интенсивностью λMr . Так как рассматривается отдельное обслуживание, то образуются две полные группы событий: выявление уязвимости в процессе обслуживания с вероятностью PCS и невыявление уязвимости с вероятностью $(1 - PCS)$; выявление программного дефекта в процессе обслуживания с вероятностью PCR и невыявление дефекта с вероятностью $(1 - PCR)$.

Из каждого состояния обслуживания по уязвимостям выполняются два перехода: первый – с интенсивностью $PCS \cdot \mu Ms$ моделирует выявление и устранение уязвимости при обслуживании, второй – с интенсивностью $(1 - PCS) \cdot \mu Mt$ моделирует проведение обслуживания без выявления уязвимости. В случае устранения всех уязвимостей переход из состояния обслуживания взвешен интенсивностью μMt . Аналогично происходит моделирование переходов из состояний обслуживания по программным дефектам. Переходы с интенсивностью $PCR \cdot \mu Mr$ моделируют выявление и устранение программного дефекта при обслуживании, переходы с интенсивностью $(1 - PCR) \cdot \mu Mt$ моделируют проведение обслуживания без выявления дефектов. В случае устранения всех дефектов переходы из состояния обслуживания взвешены интенсивностью μMt .

5. Обоснование входных данных и сравнение результатов моделирования

Временные интервалы проведения общего и отдельного обслуживания включают периоды тестирования, устранения обнаруженных дефектов и уязвимостей и верификации модифицированного программного обеспечения. Процедуры поиска дефектов и уязвимостей отличаются как по составу, так и по длительности, а их полнота определяет соответствующие вероятности PCS и PCR.

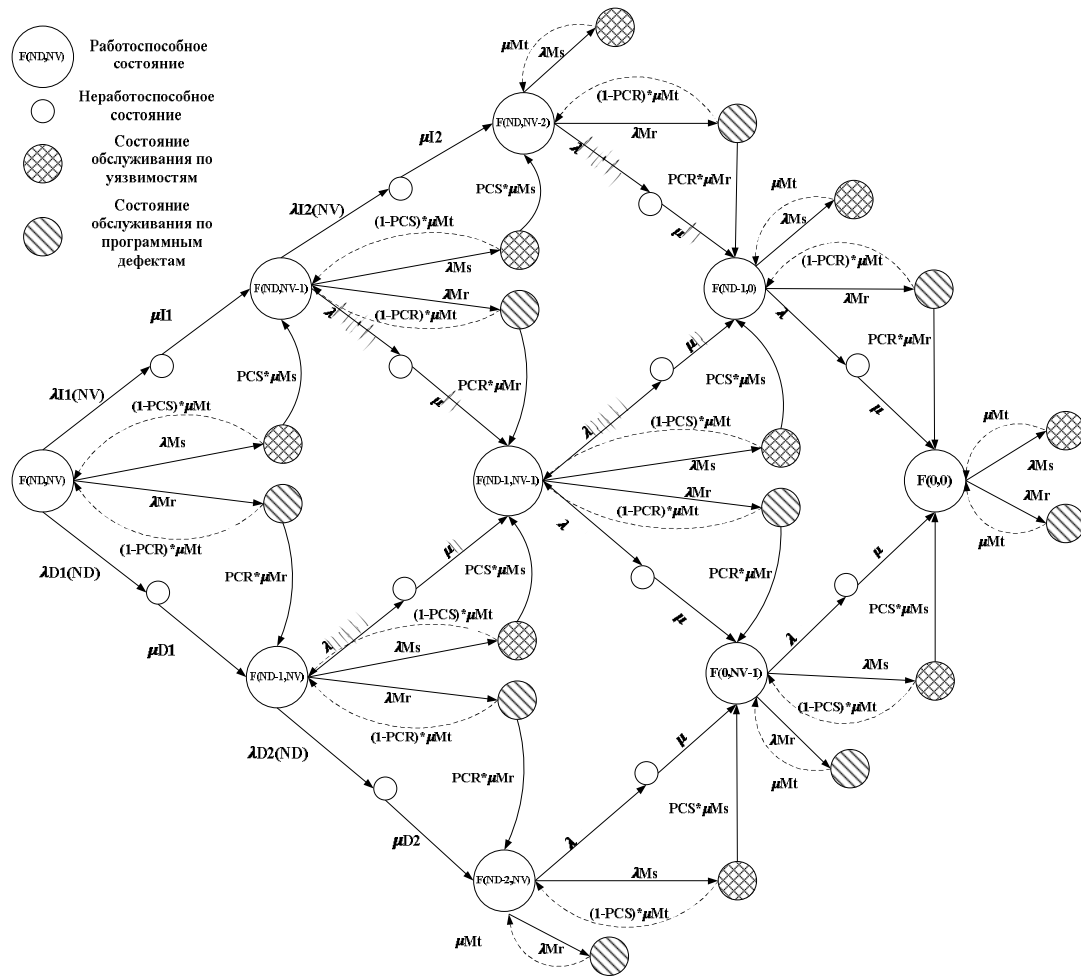


Рис. 3. Размеченный граф модели MBAS3 с учетом разделенного обслуживания по уязвимостям и программным дефектам

В ходе исследований приняты следующие значения входных параметров (табл. 2). Для исследования моделей были разработаны программные конструкции в системе Matlab.

На рис. 4 показаны размеченные графы моделей, построенные с помощью модифицированной функции *gPlot* [8]. На графах работоспособные состояния показаны черными окружностями с порядковой нумерацией от 0 до 8.

Таблица 2

Значения входных параметров моделей готовности

Входной параметр	Значение
$\lambda_{D1}, \lambda_{D2}$	$5e-4, 4.5e-4$ (1/час)
$\lambda_{I1}, \lambda_{I2}$	$3e-3, 3.5e-3$ (1/час)
μ_{D1}, μ_{D2}	$0.5, 0.4$ (1/час)
μ_{I1}, μ_{I2}	$0.45, 0.34$ (1/час)
λ_{Mj}	$1e-3$ (1/час)
λ_{Ms}	$5e-3$ (1/час)
λ_{Mr}	$1e-3$ (1/час)
μ_{Mt}	0.4 (1/час)
μ_{Ms}	0.2 (1/час)
μ_{Mr}	0.3 (1/час)
PCS	0.4
PCR	0.2

Для построения матрицы системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена используется функция *matrixA* [9]. Для решения системы дифференциальных уравнений применен встроенный решатель Matlab *ode15s*. Функция готовности определяется как:

$$A(t) = \sum_{i=0}^8 P_i(t). \quad (1)$$

Результаты моделирования показаны на рис. 5. Графики моделей имеют одинаковый характер изменения функции готовности. На первом этапе готовность системы снижается до минимума, далее она асимптотически стремится к устоявшемуся значению. Таким образом, при дальнейшем анализе результатов необходимо учитывать три параметра:

- значение минимума функции готовности $A_{MBAS i, min}$ (для модели MBAS1 – 0.9919, для модели MBAS2 – 0.9886, для модели MBAS3 – 0.9758);
- значение функции готовности в устоявшемся режиме $A_{MBAS i, const}$ (для модели MBAS1 – 1, для модели MBAS2 – 0.9975, для модели MBAS3 – 0.9852);
- временной интервал перехода функции готовности в устоявшийся режим $T_{MBAS i, const}$ (для модели MBAS1 – 8246.5 часов, для модели MBAS2 – 5252.6 часов, для модели MBAS3 – 5303.3 часов).

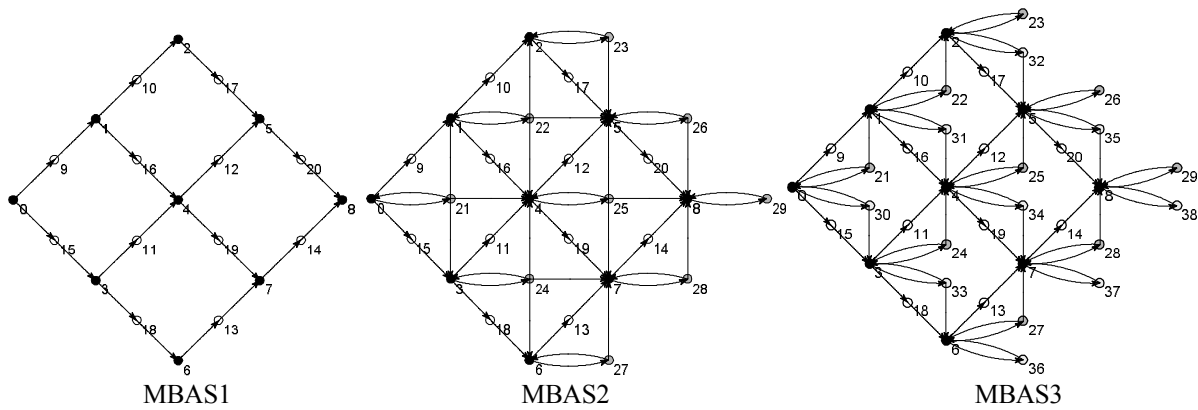


Рис. 4. Орграфы моделей готовности архитектуры BAS с двумя программными дефектами и двумя уязвимостями, построенные с помощью функции grPlot

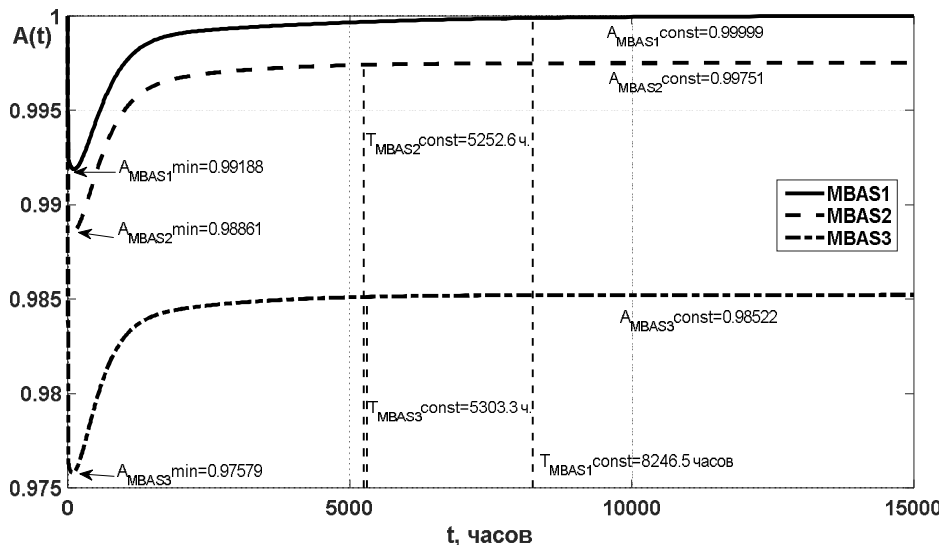


Рис. 5. Результаты моделирования готовности архитектуры BAS (результатирующие показатели определены с погрешностью 10^{-4})

Как видно из графиков на рис.5, проведение мероприятий обслуживания снижает как установившееся значение функции готовности, так и ее минимум. В связи с принятыми допущениями об постепенном устранении дефектов и уязвимостей, готовность системы без обслуживания асимптотически стремится к единице. Для моделей с обслуживанием характерно стремление готовности к значению, определяемому крайним правым фрагментом, что для общего обслуживания составляет:

$$A_{MBAS2\ const} = \mu Mt / (\lambda Mj + \mu Mt),$$

а для раздельного обслуживания составляет:

$$A_{MBAS3\ const} = \mu Mt / (\lambda Mr + \lambda Ms + \mu Mt).$$

Этим можно объяснить выигрыш модели с общим обслуживанием по показателям минимума функции готовности (на 0.0128) и стационарного значения функции готовности (на 0.0123).

Проведение обслуживания позволяет в 1.57 раз ускорить выявление и устранение дефектов и уязвимостей. При этом разница показателей $T_{MBAS1\ const}$ для моделей с общим и раздельным обслуживанием незначительна (менее 1%). Но здесь необ-

ходимо учитывать фактор того, что на вход моделей MBAS2 и MBAS3 были поданы одинаковые значения вероятностей обнаружения и выявления дефектов и уязвимостей PCS и PCR. И если в модели MBAS3 PCS и PCR могут изменяться в диапазоне 0..1 одновременно, то в модели MBAS3 параметры PCS и PCR одновременно могут принимать максимальное значение 0.4142.

Выводы

В статье разработаны марковские модели готовности BAS с учетом внутрисистемных (дефекты аппаратных и программных средств) и внешних (атаки на уязвимости служб DNS и DHCP) факторов и проанализированы модели системы без процедур обслуживания, с общим и раздельным обслуживанием по дефектам и уязвимостям.

Результаты моделирования показали, что система без обслуживания обладает самыми высокими показателями готовности, при отсутствии дефектов и уязвимостей ее готовность асимптотически стремится к единице. С другой стороны системы с раз-

дельным и общим обслуживанием позволяют в 1.57 раз быстрее выявить и устранить дефекты и уязвимости.

Практический интерес представляют разработанные Matlab-программы, которые можно использовать в инженерной практике.

Дальнейшие исследования следует направить на:

- разработку и исследование марковских моделей и инструментальных средств оценки готовности архитектуры BAS с учетом ограниченного количества процедур обслуживания;

- исследование влияния входных параметров на результирующие показатели марковских моделей оценки готовности архитектуры BAS;

- разработку метода определения вида и оптимального количества процедур обслуживания для максимизации показателей готовности и минимизации периода устранения дефектов и уязвимостей.

Интересным решением могут быть адаптивные стратегии с изменяющимся режимом обслуживания по времени (комбинации моделей MBAS1-3).

Список литературы

1. Розрахунок показників безвідмовності для IT-систем з хмарною послугою NaaS / В.С. Харченко, Ю.Л. Поночовний, К.С. Вишивцева, К.Д. Безугла // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС, 2016. – Вип. 9. – С. 177-181.
2. Al-Sudani Mustafa Qahtan Abdulmunem. The method of IMECA-based security assessment: case study for building automation system / Mustafa Qahtan Abdulmunem Al-Sudani, Waleed Al-Khafaji Ahmed, V. S. Kharchenko // Системи обробки інформації. - 2016. - Вип. 1. - С. 138-144.
3. Granzer, W. Security in Networked Building Automation Systems. [Електронний ресурс]/W. Granzer, W. Kastner, N. Georg, F. Praus// ViennaUniversity of TechnologyInst. of Computer Aided Automation, Automation Systems

GroupTreitlstraße 1-3, A-1040 Vienna, Austria. – Режим доступу: [http://osgug.ucaiug.org/utilisec/embedded/Shared%20Documents/Device%20Security/Epoch Inputs/ BAS%20 Security.pdf](http://osgug.ucaiug.org/utilisec/embedded/Shared%20Documents/Device%20Security/Epoch%20Inputs/BAS%20Security.pdf) – 18.09.2016 з.

4. Trivedi K. S. Dependability and security models / K. S. Trivedi, D. S. Kim, A. Roy and D. Medhi // Design of Reliable Communication Networks, 2009. DRCN 2009. 7th International Workshop on, Washington, DC, 2009, pp. 11-20.

5. Абдул-Хади А.М. Разработка базовых марковских моделей для исследования готовности коммерческих веб-сервисов / А.М. Абдул-Хади, Ю.Л. Поночовний, В.С. Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2013. - № 5. - С. 186–191

6. Харченко В.С. Базовые многофрагментные макромодели оценки надежности отказоустойчивых компьютерных систем информационно-управляющих комплексов / В.С. Харченко, О.Н. Одарущенко, Е.Б. Одарущенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – Вип. 5(17). – С. 62-70.

7. Боярчук А.В. Разработка и исследование базовых моделей отказоустойчивых Web-сервисов / А.В. Боярчук, Ю.Л. Поночовний, В.С.Харченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – X., ХАІІ, 2010. – № 5(46). – С. 42-49.

8. Функция для рисования графов и орграфов средствами MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iglin.exponenta.ru/All/grth/grPlot.html> – 18.09.2016 з.

9. Vyacheslav S. Kharchenko. Availability Assessment of Information and Control Systems with Online Software Update and Verification / Vyacheslav S. Kharchenko, Yuriy Ponochovnyi, Artem Boyarchuk // Ermolayev, V., Mayr, H.C., Nikitchenko, M., Spivakovskiy, A., Zholtkevych, G. (eds.): Information and Communication Technologies in Education, Research and Industrial Applications. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, CCIS Vol. 469, 2014. – P. 300-324.

Надійшла до редколегії 16.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.М. Конорев, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

МАРКІВСЬКІ МОДЕЛІ ГОТОВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ ПРИ РОЗДІЛЬНОМУ І СПІЛЬНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ З НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ

В.С. Харченко, Аль-Судані Мустафа Кахтан Абдулмунем, Ю.Л. Поночовний

У статті розглянуті питання побудови марківських моделей і оцінки готовності інформаційно-управляючої системи «розумного» будинку (smart building automation system, BAS). Визначено, що причинами відмов і недоступності компонент архітектури BAS можуть бути як внутрішньо системні, так і зовнішні фактори, серед яких виділені програмні дефекти і уразливості. Останні розглядаються як елементи двох непересічних множин. Детально проаналізовано моделі архітектури BAS з програмними дефектами і атакованими уразливими без процедур обслуговування, із спільним і роздільним обслуговуванням з надійності (дефекти) і безпеки (уразливості). Сформульовано рекомендації щодо вибору стратегій і параметрів обслуговування.

Ключові слова: інформаційно-управляюча система, розумний будинок, програмні дефекти і уразливості, готовність, надійність, безпека, стратегії обслуговування, марківські моделі.

MARKOV AVAILABILITY MODEL OF SMART BUILDING AUTOMATION SYSTEM WITH SEPARATE AND COMMON RELIABILITY-SECURITY RELATED MAINTENANCE

V.S. Kharchenko, Al-sudani Mustafa Qahtan Abdulmunem, Y.L. Ponochovnyi

The paper deals with development and research of Markov models of smart building automation systems (BAS). It has been taken into account that BAS failures can be caused by intra (reliability) and external (security) reasons including software faults and attacks on vulnerabilities. The sets of faults and vulnerabilities are considered as separated and disjoint ones. Markov models of BAS architecture with occurred software faults and attacked vulnerabilities considering three maintenance strategies are systemized and researched. These strategies are based on recovery without maintenance, maintenance with common and separate activities on reliability (faults) and vulnerabilities (security). Recommendations concerning choice of strategies and parameters of maintenance are suggested.

Keywords: building automation system, availability, smart home, software faults and vulnerabilities, availability, reliability, security, maintenance strategy, Markov models.

УДК 519.7

О.В. Чалая

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД АДАПТАЦИИ МНОГОВАРИАНТНЫХ ЗНАНИЕ – ЕМКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ЛОГОВ

В статье рассмотрена проблема снижения эффективности выполняющихся бизнес-процессов при реализации процессного управления и предложен метод ее решения путем адаптации модели процесса на основе анализа его логов. Указанное снижение эффективности связано с эволюцией требований пользователей, а также контекста выполнения бизнес-процесса. Для решения данной проблемы необходимо выполнить непрерывную адаптацию модели процесса к новым условиям его функционирования, и, таким образом, обеспечить непрерывное улучшение бизнес-процесса. При адаптации моделей средствами интеллектуального анализа обходимо учитывать многовариантность таких процессов. Многовариантность заключается в использовании альтернативных последовательностей действий для различных условий внешней среды. Предложенный метод адаптации многовариантных знание-емких бизнес-процессов использует экстернализацию неявных статических зависимостей между элементами контекста и действиями процесса. Полученные в результате применения метода зависимости могут быть представлены в форме бизнес-правил. В практическом плане разработанный метод позволяет построить обобщенную модель многовариантного бизнес-процесса и на этапе конфигурирования адаптировать ее в условиях конкретного контекста с помощью полученных бизнес-правил.

Ключевые слова: бизнес-процесс, контекст, явные знания, неявные знания, workflow.

Введение

В настоящее время широко применяются два базовых подхода к управлению предприятием: функциональный и процессный.

При функциональном подходе деятельность предприятия представляется в виде множества функциональных задач. Управление деятельностью предприятия состоит в управлении выполнением этих задач.

Процессный подход к управлению основан на описании деятельности предприятия в виде набора параллельно выполняющихся взаимодействующих бизнес-процессов (БП) [1]. Управление деятельностью организации осуществляется посредством управления совокупностью его бизнес-процессов. Поэтому для реализации процессного управления необходимо разработать модели всех бизнес-процессов организации. Модель БП представляет собой явное описание процесса в форме: набора возможных действий процесса; причинно-следственных связей между этими действиями; функциональных и нефункциональных ограничений на отдельные действия либо их последовательности (подпроцессы), выраженных в форме бизнес-правил.

Ключевая проблема процессного управления состоит в проявляющейся на практике тенденции к понижению эффективности выполняющихся бизнес-процессов, связанной с изменением требования пользователей, технологий, рыночных условий (конкурентной среды) [2]. Это приводит к необходимости непрерывного совершенствования БП.

Усовершенствование бизнес-процесса предполагает непрерывную адаптацию его модели с тем, чтобы она была адекватна текущему контексту его выполнения.

Адаптация бизнес-процессов основывается на использовании цикла улучшений Шухарта-Деминга PDCA [3, 4] направленного на непрерывное повышение качества продукции. После уточнения данного цикла в работах Нолана была разработана модель совершенствования процессов, обеспечивающая повышение качества продукции [5, 6]. Модель обозначала цели процесса, критерии и действия по совершенствованию. В работе Хаммера и Чампи [7] была предложена концепция реинжиниринга – построения моделей бизнес-процессов с «чистого листа» для радикального повышения эффективности деятельности организации.

В целом существующие подходы к повышению адекватности модели БП подразделяются на следующие группы: непрерывное совершенствование на уровне отдельных действий; реорганизация на уровне подпроцессов; реинжиниринг на уровне бизнес-процесса в целом.

Такие подходы успешно применяются к традиционным БП с жестко заданной структурой. Однако при их использовании для улучшения знание-емких процессов возникают существенные трудности, связанные с гибкостью последних. Знание-емкие (knowledge-intensive) бизнес-процессы (ЗБП) [8, 9] отличаются тем, что содержат уровень знаний (явных и неявных), определяющий поведение процесса в конкретном контексте [10, 11]. Такие процессы

являются многовариантными [12] и могут изменяться во время выполнения с учетом встроенных знаний [13, 14] о существующих зависимостях между действиями БП.

Встроенные знания могут быть выделены на основе анализа записей о поведении таких процессов методами process mining [15, 16].

Изложенное определяет актуальность разработок подходов к усовершенствованию знание-емких бизнес-процессов на основе анализа их предшествующего поведения.

Целью данной статьи является разработка метода адаптации знание - емких бизнес-процессов к изменяющемуся контексту их выполнения на основе анализа логов процессов средствами process mining для обеспечения.

Метод адаптации многовариантных знание - емких бизнес-процессов

Управление бизнес-процессами заключается в использовании принципов, методов, технологий проектирования, конфигурирования, поддержки выполнения, а также администрирования и анализа бизнес-процессов для достижения целей этих процессов. Цель деятельности предприятия детализуется через цели выполняющихся бизнес-процессов. Для того, чтобы можно было выполнить бизнес-процесс в соответствии с полученной моделью, ее необходимо сконфигурировать в процессно-ориентированной информационной системе. При конфигурировании используются бизнес-правила. Такие правила обычно задают организационные (связанные с текущей структурой предприятия) и функциональные (связанные с особенностями текущего функционирования предприятия) ограничения.

Сконфигурированная модель исполняется под управлением процессно-ориентированной информационной системы, позволяя реализовать соответствующий бизнес-процесс.

Каждой модели соответствует несколько экземпляров бизнес-процесса. Экземпляр БП содержит только те действия, которые выполняются при однократной реализации процесса в конкретных условиях внешней среды.

После завершения процесса выполняется анализ и усовершенствование модели.

При усовершенствовании знание - емких бизнес-процессов необходимо учитывать их следующие особенности [8]:

- использование креативности, опыта и интуиции исполнителей, формирующих неявных знания, для выполнения и адаптации процесса;

- вариативность, основанная на применении явных и скрытых зависимостей, определяющих выбор текущей последовательности действий процесса;

- наличие частных случаев реализаций, которые обычно называют ad-hoc-процессы;

- возникновение непредвиденных исключительных ситуаций в ходе процесса.

Для интеграции указанных особенностей ЗБП целесообразно использовать многоаспектный подход к описанию бизнес-процессов, который позволяет сопоставить действия, ресурсы и результаты процесса [18].

Для достижения поставленной в работе цели предлагается рассматривать знание - емкий бизнес-процесс в разрезе трех аспектов:

- контекст, который можно рассматривать как виртуальную среду, в которой выполняется ЗБП;

- темпоральный или временной аспект, который задает последовательность действий БП во времени;

- аспект знаний, который содержит правила выполнения таких действий, которые обеспечили бы достижение цели процесса в текущем контексте.

Таким образом, при управлении и усовершенствовании БП выполняется интеграция знаний, определяющих текущие действия, информации о возможных последовательностях действий, а также текущих данных, отражающих состояние контекста, в котором выполняется процесс. Зависимости между состоянием контекста и действиями процесса могут быть представлены как в виде явных знаний в форме бизнес-правил, так и в виде неформализованных персональных знаний исполнителей процесса. Последние представляют собой неявные знания [10].

Каждый шаг выполнения процесса и, следовательно, результаты адаптации процесса исполнителями на основе их неявных знаний фиксируются информационной системой в форме логов. Это означает, что логи содержат встроенное неявное знание.

Тогда задача адаптации и усовершенствования знание - емких процессов сводится к задаче экстернализации такого встроенного неявного знания. Экстернализация заключается в преобразовании знания из неявной формы в явную [17].

Полученные зависимости могут быть либо непосредственно встроены в процесс, либо представлены в форме бизнес-правил. В первом случае полученные знания характеризуются следующими особенностями: задают недокументированные ранее причинно-следственные зависимости между действиями процесса в конкретном контексте; позволяют формализовать статические, долговременные зависимости между элементами контекста и действиями процесса. Такие знания могут быть использованы на этапе конфигурирования модели процесса в жизненном цикле ЗБП.

Во втором случае полученные знания характеризуются следующими особенностями: задают при-

чинно-следственные зависимости между изменениями контекста и действиями процесса; позволяют формализовать правила изменения процесса в зависимости от изменения среды, в которой он выполняется; в общем случае контекст выполнения определяется влиянием как клиентов и исполнителей данного БП, так и влиянием других выполняющихся процессов. Такие знания могут быть использованы на этапе построения либо адаптации модели процесса.

Для выявления встроенных в лог знаний целесообразно использовать адаптированные методы интеллектуального анализа процессов. При решении задачи анализа логов возникают следующие две проблемы:

проблема построения моделей ЗБП как гибких многовариантных процессов;

проблема моделирования изменений ЗБП во время его выполнения.

Первая проблема связана с наличием неформализованных статических контекстных связей, определяющих различные варианты реализации БП. Иными словами, из многовариантной модели ЗБП необходимо сформировать конкретный экземпляр процесса, который содержал бы последовательность действий, обеспечивающую достижение цели в известном конкретном контексте. Для того, чтобы выявить все используемые на практике последовательности действий, необходимо:

проанализировать все входящие в состав логатрассы процесса с учетом атрибутов событий;

выявить зависимости между атрибутами, определяющими текущий контекст, и выбранными действиями процесса;

сравнить полученные зависимости с уже известными; включить в модель ранее неизвестные зависимости, отражающие используемые на практике варианты реализации процесса.

Вторая проблема связана с наличием неформализованных динамических связей, определяющих изменение процесса вследствие изменения контекста.

В отличие от предлагаемого подхода к выявлению статических связей, в данном случае модель изменений не может быть получена на основе анализа только известных заранее трасс логатрассы. Причина такого ограничения состоит в том, что искомые изменения присущи только выполняющемуся экземпляру процесса. Поэтому в данном случае для экстернализации знаний необходимо сравнивать трассу текущего выполняющегося экземпляра и существующие трассы логатрассы с учетом атрибутов их событий.

Текущая статья посвящена разработке общего метода адаптации знание-емкого бизнес-процесса в рамках решения первой проблемы.

Предлагаемый метод включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Отбор подмножеств атрибутов A событий, а также таких множеств их значений $V = \{v(a_j)\}, a_j \in A$, которые характеризуют требуемый контекст. Данный этап предполагает выбор атрибутов и значений экспертами, поскольку связь между записанными в логатрассе атрибутами и требуемыми элементами контекста определяется предметной областью. В качестве альтернативы может быть использован наиболее распространенный набор атрибутов, который включает наименование и состояние действия, имя пользователя, а также наименование организации и страны, в которой выполнен процесс. Выбор требуемых множеств значений атрибутов в альтернативном случае также осуществляется экспертами либо исполнителями знание-емких бизнес-процессов.

Этап 2. Отбора подмножества трасс процесса T , с заданными значениями атрибутов событий $a_j \in A$. При отборе выполняется проверка условия:

$$t_k \in T | \forall a_j \in A, V(a_j) \in V \exists e_i \in t_k, \quad (1)$$

где t_k – k -трасса процесса из отобранного подмножества T ; e_i – i - событие трассы t_k ; a_j – атрибут события e_i из множества допустимых A .

Таким образом, условие (1) позволяет выбрать только те трассы, набор событий которых обладает всеми атрибутами из отобранного множества A , а атрибуты обладают искомым множеством значений.

Этап 3. Построение workflow – модели методами process mining с использованием в качестве входных данных отобранных трасс логатрассы. В данном случае может быть применен эвристический алгоритм майнинга. Результатом данного этапа является модель поведения процесса в заданном атрибутами $a_j \in A$ и их значениями $v(a_j)$ контексте.

Этап 4. Построение ассоциативных зависимостей с использованием алгоритма Argot1. Результатом данного этапа является набор ассоциативных правил.

Этап 5. Экспертное оценивание и отбор полученных ассоциативных правил их последующее использование в качестве бизнес-правил

Этап 6. Конфигурирование полученного на этапе 3 экземпляра знание-емкого бизнес-процесса в заданном контексте с использованием полученных на этапе 5 бизнес-правил.

В практическом плане предлагаемый метод позволяет реализовать представленный на рисунке цикл адаптации и реализации многовариантного знание-емкого бизнес-процесса с использованием средств process mining.

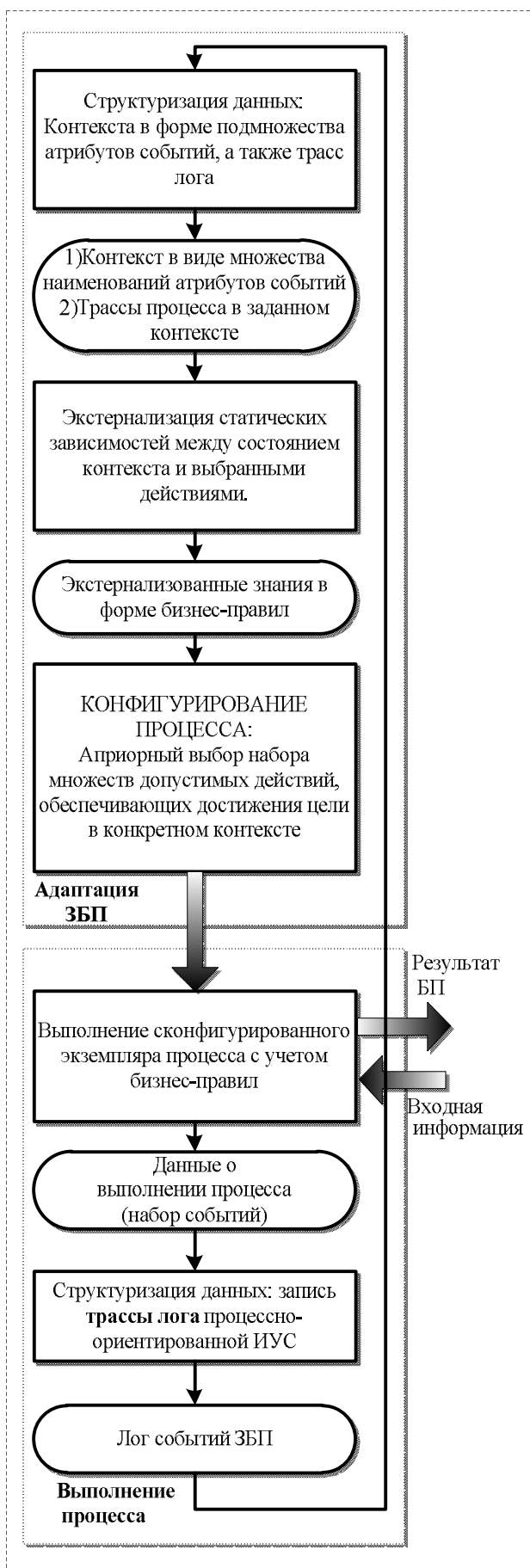


Рис. 1. Цикл адаптації – виконання багатовариантного знаніє-ємкого бізнес-процесу

Как видно из рисунка, при использовании предлагаемого метода перед каждой конфигурацией бизнес-процесса выполняется поиск зависимостей, определяющих алгоритм действий в заданном контексте. Контекст извлекается из лога на основе атрибутов событий.

Успешный результат поиска состоит в получении набора правил, задающих выбор экземпляра процесса в зависимости от контекста.

Выводы

В статье рассмотрена проблема снижения эффективности выполняющихся бизнес-процессов при реализации процессного управления. Указанное понижение эффективности является следствием изменения требований пользователей, рыночной ситуации, появления новых технологий.

Для решения данной проблемы необходимо выполнить непрерывную адаптацию модели процесса к новым условиям его функционирования для того, чтобы обеспечить непрерывное улучшение бизнес-процесса.

Показано, что адаптация ЗБП подразделяется на априорную и динамическую. Для решения задачи априорной адаптации модели БП целесообразно использовать методы интеллектуального анализа записей об известном поведении процесса.

Такое поведение отражено в логах процесса, которые формирует процессная информационная система.

При адаптации модели ЗБП средствами интеллектуального анализа обходимо учитывать как многовариантность таких процессов, так и возможность их изменения во время выполнения.

Предложен метод адаптации многовариантных знание-емких бизнес-процессов, который обеспечивает априорную адаптацию таких процессов к различным состояниям контекста на основе анализа их логов.

Метод реализует экстернализацию неявных статических зависимостей между элементами контекста и действиями процесса. В дальнейшем используемые зависимости представляются в форме бизнес-правил, обеспечивающих конфигурирование конкретного экземпляра процесса с учетом состояния контекста.

В практическом плане разработанный метод позволяет построить обобщенную модель многовариантного бизнес-процесса и адаптировать ее под условия конкретного контекста на этапе конфигурирования с помощью полученных бизнес-правил.

Пример применения предложенного метода – разработка типового процесса сервисного обслуживания для транснациональной компании и конфигурирование экземпляров процесса для подразделений с учетом специфики отдельной страны.

Список літератури

1. Елиферов В.Г. Бизнес-процессы: Регламентация и управление / В.Г. Елиферов, В.В. Репин. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 319 с.
2. Mathias Weske: *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures* 2nd ed. 2012, XV, 403 p.
3. Deming, W.E. *The New Economics*. MIT Press. Cambridge, MA. -1993. – 135 p.
4. Shewhart, W.A., Deming, W.E., (ed) *Statistical Method from The Viewpoint of Quality Control*. Dover Publications: New York.-(1939/1986) – 155p.
5. Moen, R. D., Nolan, T. W., *Process improvement.- Quality Progress, ASQC. -September, 1987.- pp. 62-68.*
6. Langlely, G. J., Moen, R. D., Nolan, K. M., Nolan, T. W., Norman, C. L., Provost, L. P., *The Improvement Guide: A Practical Approach to Enhancing Organizational Performance.*-2009. – 512 p.
7. М. Хаммер, Д. Чампи: *Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. Пер. с англ. — СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. — 332 с.*
8. Gronau N. *KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes* / N. Gronau, C. Müller, R. Korf // *Journal of Universal Computer Science.* - 2005. – №11(4). – pp. 452- 472.
9. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice* / N. Gronau – *Taschenbuch* . – 519 p.
10. Polanyi M. *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*/ M. Polanyi. – *University of Chicago Press, 1958. – 493 p.*
11. Polanyi M. *The Tacit Dimension* / M. Polanyi. – *University of Chicago Press, 1966. – 104 p.*
12. Gronau N. *A Proposal to Model Knowledge in Knowledge-Intensive Business Processes* / N. Gronau, C. Thim, A.Ullrich, G. Vladova, E. Weber // *BMSD 2016. 20-22 June, Rhodes, Greece. Volume 16.*
13. Blackler, F.H.M. *Knowledge, knowledge work and organizations: an overview and interpretation 1995* In: *Organization Studies.* - №16(6).- p. 1021-1046. 26 p.
14. Leonard-Barton, D. *Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation*/ D. Leonard-Barton. Boston, MA:Harvard Business School Press, 1995. – 334 p.
15. W.M.P. van der Aalst. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [Text]* / W.M.P. van der Aalst. Springer-Verlag, Berlin, 2011.–352 p.
16. W.M.P. van der Aalst. *Process Mining in the Large: A Tutorial. [Text]* / In E. Zimnyi, editor, *Business Intelligence (eBISS 2013), volume 172 of Lecture Notes in Business Information Processing, Springer-Verlag, Berlin, 2014. – P. 33-76.*
17. Нонака И. *Компания - создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах* / И. Нонака, Х. Такеучи - М., 2003. – 384 с.
18. La Rosa M. *Configurable multi-perspective business process models* // M. La Rosa, M. Dumas, Arthur H.M. ter Hofstede, J. Mendling // *Information Systems.* - 2011. – Vol.36, Issue 2. – pp. 313-340.

Надійшла до редколегії 27.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Філатов, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

МЕТОД АДАПТАЦІЇ БАГАТОВАРІАНТНИХ ЗНАННЯ-ЄМНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЛОГІВ

О.В. Чала

У статті розглянута проблема зниження ефективності виконуються бізнес-процесів при реалізації процесного управління і запропонований метод її вирішення шляхом адаптації моделі процесу на основі аналізу його логів. Для вирішення даної проблеми необхідно виконати безперервну адаптацію моделі процесу до нових умов його функціонування, і, таким чином, забезпечити неухильне поліпшення бізнес-процесу. При адаптації моделей засобами інтелектуального аналізу необхідно враховувати багатоваріантність таких процесів. Багатоваріантність полягає в використанні альтернативних послідовностей дій для різних умов зовнішнього середовища. Запропонований метод адаптації різноманітних знання-ємних бізнес-процесів використовує екстерналізацію неявних статичних залежностей між елементами контексту і діями процесу. Отримані в результаті застосування методу залежності можуть бути представлені у формі бізнес-правил. У практичному плані розроблений метод дозволяє побудувати узагальнену модель багатоваріантного бізнес-процесу і на етапі конфігурації адаптувати її в умовах конкретного контексту за допомогою отриманих бізнес-правил.

Ключові слова: бізнес-процес, контекст, явні знання, неявні знання, workflow.

METHOD OF ADAPTATION OF KNOWLEDGE- INTENSIVE BUSINESS PROCESS

O.V. Chala

The article considers the problem of reduction of the effectiveness of business processes in the process management. Method of adaptation of knowledge - intensive business process to solve this problem is proposed. This reduction in efficiency is due to the evolution of the user requirements, as well as the execution context of the business process. To solve this problem, one must perform a continuous process of adaptation of the model to the new environmental conditions. Process mining approach to adapt such multi-variant process is considered. Multi-variant process use alternative workflows for a variety of environmental conditions. The proposed method of adaptation of multiple knowledge-intensive business processes use externalization of implicit static dependencies between elements of context and process actions. The resulting dependence can be presented as business rules. In practical terms, the developed method allows us to construct a generalized model of multivariate business process and to adapt it in a specific context using the received business rules.

Keywords: business process, context, explicit knowledge, tacit knowledge, workflow.

УДК 004.6

О.М. Чаузов

Інститут СЗІ НТУ України «КПІ» імені Ігоря Сікорського, Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ МІЖ ТРАНЗАКЦІЯМИ ДО СХОВИЩ ДАНИХ

Розглядаються принципи побудови математичних моделей, що дозволяють провести оптимальний розподіл інформаційного ресурсу системи між транзакціями до сховищ даних (СД). Розглянута модель використовує базову модель інформаційно-телекомунікаційної мережі, що підтримує АСУ спеціального призначення. В моделі обмін здійснюється інформаційними блоками (ІБ), що надходять із сховищ даних, та у загальному випадку мають різний об'єм. Крім того, у моделі враховуються ймовірності звертання до ІБ СД.

Ключові слова: інформаційний ресурс, математична модель, інформаційно-телекомунікаційна мережа, розподілені дані.

Вступ

Особливості розподілу інформаційного ресурсу. Система планування розміщення інформаційного ресурсу у розподіленому середовищі інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) АСУ спеціального призначення (СП) повинна забезпечувати оптимальне значення обраної цільової функції шляхом складання плану розподілу ресурсів між запитами із вхідного нестационарного потоку, враховуючи при цьому особливості завдань, котрі вирішуються системою.

Підвищення якості обслуговування користувачів ІТМ АСУ СП по обробці запитів у частині, що стосується результативності обробки запитів, потребує розробки розподіленої системи планування, що опирається на використання моделей запитів і потоку запитів, а також обчислювальної підсистеми. Розподілений характер ІТМ АСУ СП визначає необхідність використання розподіленої системи планування.

Аналіз останніх досліджень. У ряді літературних джерел [1 – 8] описані методи планування процесу обслуговування за різноманітними дисциплінами. Зокрема, у [3] показано порядок планування інформаційного ресурсу для АСУ промислового підприємства для розподілених гетерогенних систем, однак в них не враховується нестационарність потоку запитів. У [6] при розподілу інформаційного ресурсу проаналізовані нестационарні потоки, але тільки для негетерогенних систем. Також у більшості робіт [1, 2, 4, 5, 7 – 9] відсутній аналіз втрат системи при несвоєчасному виконанні деяких запитів.

В даній статті розглянемо один із варіантів вирішення даного завдання – розподілити інформаційний ресурс системи між транзакціями до сховищ даних. **Мета статті** – при розробці відповідної математичних моделей врахувати як різний об'єм інформаційних блоків, так і розподіл ймовірностей кількості звернень до різних блоків.

Результати досліджень

Розглянемо модель інформаційно-телекомунікаційної мережі (ІТМ) підтримки АСУ спеціального призначення, що характеризується інформаційними блоками (ІБ) різного об'єму, причому ймовірності звертання до деяких з них можуть бути однаковими. При створенні сховищ даних (СД) великої інформаційної ємності потрібне виділення інформаційного ресурсу, надаваного різними типами вузлів ІТМ, що відрізняються своїми характеристиками.

Розглянемо транзакцію до СД, формовану на основі інформації, обраної з M інформаційних блоків об'єму W_i ($i = \overline{1, M}$). Ймовірність звертання до i -го ІБ дорівнює p_i , де $\left(\sum_{i=1}^M p_i = 1\right)$. Для обробки та розміщення ІБ розподіленого СД може бути надано N різних типів вузлів ІПС, характеристики яких визначаються як t_j, f_j ($j = \overline{1, N}$). Визначимо показник відносної частоти звертання i -го ІБ як:

$$\omega_i = \frac{p_i}{W_i}, \quad i = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Вочевидь, що середній час доступу до M i -го ІБ довільного об'єму, для розміщення та обробки яких інформаційний ресурс надають N типів вузлів ІПС, буде мінімальним, якщо завантажувати ІБ, починаючи з вузлів, що мають найбільшу швидкодію в порядку зменшення величини ω_i .

Пронумеруємо типи вузлів ІПС в порядку зменшення швидкодії, тобто

$$t_j \leq t_{j+1}, \quad j = \overline{1, N-1},$$

а ІБ – за убаванням відносної частоти обігу, тобто

$$\omega_i \geq \omega_{i+1}, \quad i = \overline{1, M-1}.$$

Позначимо k_j – кількість ІБ, розміщених у типах вузлів ІПС із номерами $1, \dots, j$. Кількість ІБ, ро-

зміщених в j -му типі вузла, визначається як $k(j) = k_j - k_{j-1}$, при цьому $k_0 = 0, k_N = M$.

Розглянемо дискретну випадкову величину Θ – задіяний ресурс для обробки та розміщення ІБ із можливими значеннями $\theta \in \{y_1, \dots, y_N\}$, де

$$y_j = \sum_{i=1}^{k_j} W_i, \quad j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Тоді сумарний обсяг задіяних вузлів j -го типу визначається як:

$$y_j^0 = \sum_{i=k_{j-1}+1}^{k_j} W_i, \quad j = \overline{1, N}. \quad (3)$$

Для всіх типів вузлів можна розглядати N -вимірний вектор $\bar{y}^0 = \{y_1^0, \dots, y_N^0\}$.

Можна відмітити, що змінні y_j та y_j^0 пов'язані відношенням:

$$y_j = y_1^0 + \dots + y_j^0, \quad j = \overline{1, N}.$$

З (1) та (3) витікає, що сумарний обсяг задіяних вузлів j -го типу однозначно визначається за допомогою змінних y_j таким чином:

$$y_j^0 = y_j - y_{j-1}, \quad j = \overline{1, N}, \quad (4)$$

якщо покласти $y_0 = 0$.

Функція розподілу випадкової величини Θ має такий вигляд:

$$F(\theta) = \sum_{y_r < \theta} P(\Theta = y_r). \quad (5)$$

З (1) та (5) витікає, що в точках розриву функція $F(\theta)$ приймає такі значення:

$$\begin{cases} F(y_1) = 0, \\ F(y_j) = \sum_{i=1}^{k_{j-1}} p_i, \quad j = \overline{2, N+1}, \end{cases} \quad (6)$$

де $y_{N+1} = y_N + c, c = \text{const} \neq 0$, тобто

$$F(\theta) = \begin{cases} 0, & \theta \leq y_1; \\ \sum_{i=1}^{k_{j-1}} p_i, & \theta \in (y_{j-1}, y_j], \quad j = \overline{2, N+1}. \end{cases} \quad (7)$$

Для вираження залежності між імовірністю звертання до ІБ і сумарним об'ємом пам'яті для їх розміщення введемо в розгляд функцію ψ , визначену в точках розриву дискретної випадкової величини Θ таким чином:

$$\psi(y_j) = \sum_{i=1}^{k_j} p_i, \quad j = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Можна побачити, що

$$\psi(y_j) = F(y_{j+1}), \quad j = \overline{1, N},$$

тобто

$$\psi(\theta) = \begin{cases} 0, & \theta < y_0; \\ \sum_{i=1}^{k_j} p_i, & \theta \in (y_{j-1}, y_j], \quad j = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (9)$$

Апроксимація функції за результатами аналітичної обробки даних дає такий результат:

$$F(\theta) = 1 - e^{-(\alpha + \beta\theta)}, \quad (10)$$

де α, β – коефіцієнти, що залежать від об'єму ІБ і ймовірностей звертання до них і що розраховуються таким чином:

$$\alpha = \frac{C \cdot y_1}{y_{N+1} - y_1}; \quad \beta = -\frac{C}{y_{N+1} - y_1}; \quad C = 20.$$

Уведемо x_{ij} – булеві змінні розподілу ІБ по типах апаратно-програмних засобів (АПЗ), котрі приймають ненульові значення тільки тоді, коли i -й ІБ розміщено у j -му вузлі АПС ІПС. :

Сумарні наведені витрати на необхідну кількість обчислювальних вузлів не повинні перевищувати максимально допустимого розміру наведених витрат f на модернізацію АПС ІПС при розподілі ресурсів, виділених для забезпечення функціонування ІБ, що визначається нерівністю:

$$\Phi(\bar{y}^0) = \sum_{j=1}^N f_j y_j^0 \leq F_{\max}. \quad (10)$$

Враховуючи (3), обмеження відносно сумарних затрат (10) в термінах змінних y_j записується як:

$$\begin{aligned} \Phi(\bar{y}) &= \sum_{j=1}^N f_j (y_j - y_{j-1}) = \\ &= f_1(y_1 - y_0) + f_2(y_2 - y_1) + \dots + f_N(y_N - y_{N-1}) = \end{aligned} \quad (11)$$

$$= \sum_{j=1}^N (f_j - f_{j+1}) y_j \leq F_{\max}, \quad f_{N+1} = 0$$

Середній час $T(\bar{y})$ доступу к M ІБ, які зберігаються у N типах вузлів ІПС визначається такою формулою:

$$\begin{aligned} T(\bar{y}) &= \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M t_j p_i x_{ij} = \\ &= \sum_{j=1}^N t_j (p_1 x_{1j} + p_2 x_{2j} + \dots + p_M x_{Mj}) = \\ &= t_1(p_1 + \dots + p_{k_1}) + t_2(p_{k_1+1} + \dots + p_{k_2}) + \\ &+ \dots + t_N(p_{k_{N-1}+1} + \dots + p_{k_N}) = t_1(y_1) + \\ &+ t_2((y_2) - (y_1)) + \dots + t_N((y_N) - (y_{N-1})) = \\ &= (t_1 - t_2)(y_1) + (t_2 - t_3)(y_2) + \dots + \\ &+ t_N(y_N) = \sum_{j=1}^N (t_j - t_{j+1}) \psi(y_j) \end{aligned} \quad (12)$$

за умови, що $t_{N+1} = 0$.

Вищевикладені міркування приводять до постановки задачі математичного програмування:

потрібно знайти вектор $\bar{y} \in \mathbb{R}^N$, при якому досягається мінімум функції:

$$T(\bar{y}) = \sum_{j=1}^N (t_j - t_{j+1}) \psi(y_j) \quad (13)$$

при обмеженні на середній час доступу:

$$\sum_{j=1}^N (f_j - f_{j+1}) y_j \leq F_{\max}, \quad (14)$$

$$f_j, y_j \in \mathbb{R}^N \quad \forall j = \overline{1, N}.$$

Сформульована задача класифікується як задача нелінійного програмування в силу нелінійності функції $\psi(\bar{y})$ [4].

Розв'язання даної задачі дозволяє в самому загальному випадку на будь-яких рівнях ієрархії обробити та розмістити раціональним методом ІБ.

ВИСНОВКИ

Розглянуто принципи побудови математичних моделей, що дозволяють провести оптимальний розподіл інформаційного ресурсу системи між транзакціями до сховищ даних. Розглянута модель використовує базову модель інформаційно-телекомунікаційної мережі, що підтримує АСУ спеціального призначення. В моделі обмін здійснюється інформаційними блоками, що надходять із сховищ даних, та у загальному випадку мають різний об'єм. Крім того, у моделі враховуються ймовірності звертання до інформаційних блоків сховищ даних.

Напрямок подальших досліджень пов'язаний із подальшого розвитку методів та моделей планування розподілу інформаційного ресурсу із врахуванням особливостей АСУ спеціального призначення з метою зниження складності алгоритму, що реалізує математичну модель.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ МЕЖДУ ТРАНЗАКЦИИ К ХРАНИЛИЩУ ДАННЫХ

А.Н. Чаузов

Рассматриваются принципы построения математических моделей, позволяющих провести оптимальное распределение информационного ресурса системы между транзакциями в хранилища данных (ХД). Рассматриваемая модель использует базовую модель информационно-телекоммуникационной сети, поддерживает АСУ специального назначения. В модели обмен осуществляется информационными блоками (ИБ), поступающих из хранилищ данных, и в общем случае имеют разный объем. Кроме того, в модели учитываются вероятности обращения к ИБ ХД.

Ключевые слова: информационный ресурс, математическая модель, информационно-телекоммуникационная сеть, распределенные данные.

DISTRIBUTION MATHEMATICAL MODEL OF INFORMATION RESOURCES BETWEEN TRANSACTIONS TO THE DATA WAREHOUSE

O.N. Chauzov

In article are considered the principles of creation of mathematical model allowing of resource information system between transactions in the data warehouse (DW). The model uses a basic model of information-telecommunication network, supports automation of special purpose. The model exchanged information blocks (IB), coming from the data warehouse, and generally have a different amount. In addition, the model takes into account the probability of recourse to the IB DW.

Keywords: information resource, mathematical model, information and telecommunications network, distributed data.

Список літератури

1. Agarwal, S. Traffic engineering in software defined networks [Text] / S. Agarwal, M. Kodialam, T.V. Lakshman [Text] // INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE. – IEEE, 2013. – P. 22.11-22.19.
2. Baki, A.K.M. Continuous monitoring of smart grid devices through multi protocol label switching [Text] / A.K.M. Baki // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2014. – Vol. 5, № 3. – P. 12.10-12.15.
3. Логинов, И.В. Оптимизация модели распределенной гетерогенной вычислительной системы, используемой для планирования обработки запросов [Текст] / И.В. Логинов, Е.В. Лебедев // Информатика и системы управления. – 2009. – № 3(21). – С. 118-124.
4. 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.
5. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України [Текст] / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 3. – С. 154-158.
6. Schramm, C. Application-oriented network modeling with mobile agents [Text] / C. Schramm, A. Bieszczad, B. Pagurek // Network Operations and Management Symposium, NOMS 98., IEEE. – IEEE, 1998. – Vol. 2. – P. 696-700.
7. Gentsch, W. Sun Grid Engine: towards creating a compute power grid [Text] / W. Gentsch // Cluster Computing and the Grid, 2011. Proceedings. First IEEE/ACM International Symposium on. USA, 2011. – P. 35-36.
8. Subramanyan, R. A scalable SNMP-based distributed monitoring system for heterogeneous network computing [Text] / R. Subramanyan, Jose Miguel-Alonso, Jose A.B. Fortes // Conference on High Performance Networking and Computing. USA. No. 14. 2000. – P. 116-119.
9. Азаренко Е.В. Проектирование автоматизированных систем управления на компьютерных сетях : монография [Текст] / Азаренко Е.В., Герасимов Б.М., Шохин Б.П. – Севастополь: Гос. океанариум, 2007. – 272 с.

Надійшла до редколегії 29.08.2015

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

УДК 519.87 (045)

В.В. Козловский¹, Д.П. Чирва²

¹ Інститут спеціальної зв'язи і захисту інформації НТУУ «КПІ», Київ

² Інститут інформаційно-діагностических систем НАУ, Київ

ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЛИНИИ СО СЛУЧАЙНЫМИ РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Получена формула для плотности вероятности, математического ожидания и дисперсии волнового сопротивления неоднородной линии со случайными распределёнными неоднородностями

Ключевые слова: волновое сопротивление; плотность вероятности; дисперсия.

Введение

В современных высокоскоростных информационных системах необходимо учитывать волновой характер процессов в магистралах передачи информации. В настоящее время в качестве моделей таких магистралей используются отрезки линий передачи с постоянным волновым сопротивлением (регулярные линии). Данная модель является весьма приближённой и позволяет учитывать в основном регулярные случайные ошибки в реализации постоянно номинального волнового сопротивления и ограниченный класс нерегулярных возмущений [1].

Основная часть

В работе [1] показано, что при реализации неоднородной линии случайное волновое сопротивление $\tilde{W}(y)$ описывается Марковским процессом V :

$$\begin{aligned} \tilde{W}(y) &= A(y)e^{2V}, \\ A(y) &= \exp\left\{2\int_0^y N(y)dy\right\}, \quad N(y) = \frac{W'(y)}{2W(y)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $W(y)$ - номинальное (расчётное) волновое сопротивление, y - текущая геометрическая координата. Для определения различных статистических характеристик процесса $\tilde{W}(y)$ (вероятность невыхода процесса за пределы заданных границ, математическое ожидание, дисперсия) необходимо знать плотность вероятности $P_{\tilde{W}}(y)$ процесса $\tilde{W}(y)$.

Для определения $P_{\tilde{W}}(y)$ воспользуемся тем, что как следует из (1), если процесс V с вероятностью $q_{c,d}$ не выходит за границы c, d , то с той же вероятностью $q_{c,d}$ волновое сопротивление $\tilde{W}(y)$ удовлетворяет неравенству (рис. 1):

$$A(y)e^{2c} < \tilde{W}(y) < A(y)e^{2d}, \quad d < c. \quad (2)$$

На практике удобно пользоваться отклонением волнового сопротивления от номинального значения

$W(y)$. Поэтому преобразуем (2). Для этого представим $\exp\{2d\}$, $\exp\{2c\}$ в виде

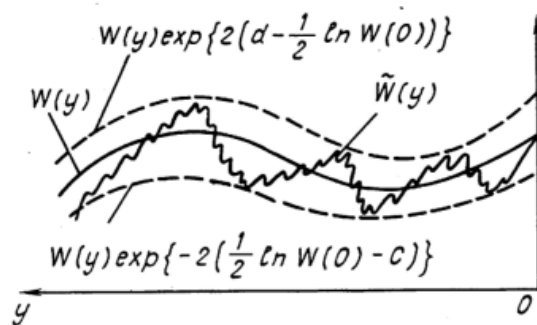


Рис. 1. Волновое сопротивление линии со случайными неоднородностями

$$\begin{aligned} e^{2d} &= W(0)e^{-2\left[\frac{1}{2}\ln W(0)\right]+2d}, \\ e^{2c} &= W(0)e^{-2\left[\frac{1}{2}\ln W(0)\right]+2c}. \end{aligned} \quad (3)$$

Учитывая, что $A(y)W(0) = W(y)$, из (2) находим

$$W(y)e^{-2\left[\frac{1}{2}\ln W(0)-c\right]} < \tilde{W}(y) < W(y)e^{2\left[d-\frac{1}{2}\ln W(0)\right]}. \quad (4)$$

Отсюда следует, если границы c, d , выбрать так, что

$$c < \frac{1}{2}\ln W(0) < d, \quad (5)$$

то $q_{c,d}$ будет характеризовать вероятность невыхода $\tilde{W}(y)$ за границы, расположенные по обе стороны от номинального волнового сопротивления, рис. 1.

На практике часто возникает ситуация, когда можно считать, что $\tilde{W}(0) = W(0)$ является детерминированной величиной. В этом случае, согласно [1]

$$\tilde{W}(y) = W(y)e^{2\int_0^y \Delta_1(y)dy}, \quad (6)$$

где $\Delta_1(y) = g(y)\Delta(y)$, (7)

$\Delta(y)$ - 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

$$m\{\Delta\} = 0, \quad (9)$$

$g(y)$ – некоторая функция, характеризующая статистические свойства процесса реализации линии, $g(y) \geq 0$. Поскольку статистические характеристики волнового сопротивления определяются только $\Delta_1(y)$, то в данном случае процесс $V(y)$ следует рассматривать при нулевом начальном условии

$$V(0) = \lambda_0 = 0. \quad (10)$$

Положив в (11) $\lambda_0 = 0$, найдем вероятность выполнения неравенства

$$W(y)e^{-2h} < \tilde{W}(y) < W(y)e^{2h}. \quad (11)$$

Согласно [1] вероятность нахождения процесса в пределах $[-h, h]$

$$q_{-h,h}(y, 0) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \cdot \exp\left\{-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 y}{8h^2} \int_0^y b(y) dy\right\}. \quad (12)$$

Теперь найдем связь между среднеквадратичским отклонением волнового сопротивления $\sigma_{\tilde{W}}(y)$ и коэффициентом диффузии $b(y)$. Установив эту связь, по среднеквадратической ошибке $\sigma_{\tilde{W}}(y)$ можно найти вероятность пребывания волнового сопротивления $\tilde{W}(y)$ в заданной области. Согласно (1)

$$\tilde{W}(y) = A(y)\tilde{W}(0) \exp\left\{2 \int_0^y \Delta_1(y) dy\right\}. \quad (13)$$

Из (13) находим корреляционную функцию процесса $\Delta_1(y) = g(y)\Delta(y)$:

$$K_{\Delta_1}(y_1, y_2) = g(y_1)g(y_2) \frac{N_0}{2} \delta(y_2 - y_1). \quad (14)$$

Согласно предельной теореме теории вероятностей процесс

$$Z = \int_0^y \Delta_1(y) dy, \quad (15)$$

является нормальным с математическим ожиданием $m\{Z\} = 0$ и дисперсией

$$\sigma_Z^2 = \int_0^y \int_0^y K_{\Delta_1}(y_1, y_2) dy_1 dy_2 = \frac{N_0}{2} \times \int_0^y \int_0^y g(y_1)g(y_2) \delta(y_2 - y_1) dy_1 dy_2 = \frac{N_0}{2} \int_0^y g^2(y) dy. \quad (16)$$

Для нормального процесса $2Z$:

$$\sigma_{2Z}^2 = 4\sigma_Z^2 = 2N_0 \int_0^y g^2(y) dy, \quad m\{2Z\} = 0. \quad (17)$$

С учетом (17) находим плотность вероятности процесса

$$\eta = e^{2Z}. \quad (18)$$

Согласно [2] при $\eta > 0$:

$$P_{\eta}(\eta) = P_{2Z} \frac{1}{d\eta} = \frac{1}{\eta} P_{2Z} = \frac{1}{\eta} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{2Z}^2}} e^{-\frac{\ln^2 \eta}{2\sigma_{2Z}^2}}, \quad (19)$$

где P_{η} , P_{2Z} – плотности вероятности процессов η и $2Z$ соответственно.

Далее учитывая, что величины $\tilde{W}(0)$ и η статистически независимы и

$$\tilde{W}(y) = A(y)\tilde{W}(0)\eta, \quad (20)$$

по известным правилам [2], находим плотность вероятности волнового сопротивления

$$P_{\tilde{W}}(y) = \frac{1}{A(y)} P_{\eta_1} \left(\frac{\tilde{W}(y)}{A(y)} \right), \quad (21)$$

где $P_{\eta_1}(\eta_1)$ – плотность вероятности процесса

$$\eta_1 = \tilde{W}(0)\eta,$$

$$P_{\eta_1}(\eta_1) = \int_0^{\infty} P_{\tilde{W}(0)}(\tilde{W}(0)) P_{\eta} \left(\frac{\eta_1}{\tilde{W}(0)} \right) \frac{1}{\tilde{W}(0)} d\tilde{W}(0), \quad (22)$$

$P_{\tilde{W}(0)}(\tilde{W}(0))$ – плотность вероятности случайной величины $\tilde{W}(0)$.

Пользуясь (19), определяем

$$m\{\eta\} = \int_0^{\infty} \eta P_{\eta}(\eta) d\eta = e^{\frac{1}{2}\sigma_{2Z}^2}. \quad (23)$$

Согласно (20) математическое ожидание волнового сопротивления

$$m\{\tilde{W}(y)\} = A(y)m\{\tilde{W}(0)\}m\{\eta\} = A(y)e^{\sigma_{2Z}^2/2}m\{\tilde{W}(0)\}. \quad (24)$$

Для определения дисперсии $\sigma_{\tilde{W}}^2$ вычислим $m\{\eta^2\}$:

$$m\{\eta^2\} = \int_0^{\infty} \eta^2 P_{\eta}(\eta) d\eta = e^{2\sigma_{2Z}^2}. \quad (25)$$

Следовательно,

$$\sigma_{\eta}^2 = m\{\eta^2\} - m^2\{\eta\} = e^{2\sigma_{2Z}^2} [e^{\sigma_{2Z}^2} - 1], \quad (26)$$

Из (20) находим дисперсию волнового сопротивления

$$\sigma_{\tilde{W}(y)}^2 = A^2(y) \cdot \left[X^2 \left(\sigma_{\tilde{W}(0)}^2 + m^2\{\tilde{W}(0)\} \right) - X m^2\{\tilde{W}(0)\} \right]; \quad X = \exp\{\sigma_{2Z}^2\}. \quad (27)$$

По прийнятій класифікації [2], як следует из (13), случайная величина $\tilde{W}(0)$ определяет регулярное возмущение волнового сопротивления, а процесс $\Delta_1(y)$ определяет нерегулярное возмущение. При отсутствии регулярных возмущений

$$P_{\tilde{W}(0)} = \delta(\tilde{W}(0) - W(0)), \quad (28)$$

и согласно (21) плотность вероятности описывается логарифмическим нормальным распределением

$$P_{\tilde{W}(y)} = \left(\tilde{W}(y) \sqrt{2\pi\sigma_{2Z}^2} \right)^{-1} \cdot e^{-\ell n^2 \frac{\tilde{W}(y)}{W(y)} / (2\sigma_{2Z}^2)} = \\ = \left(\tilde{W}(y) \sigma_{2Z} \sqrt{2\pi} \right)^{-1} \cdot e^{-(\ell n \tilde{W}(y) - \ell n W(y))^2 / 2\sigma_{2Z}^2} \quad (29)$$

с математическим ожиданием и дисперсией [2]

$$m\{\tilde{W}(y)\} = W(y)e^{\sigma_{2Z}^2/2}, \\ \sigma_{\tilde{W}(y)}^2 = W^2(y)e^{\sigma_{2Z}^2} \left(e^{\sigma_{2Z}^2} - 1 \right). \quad (29, a)$$

На рис. 2 показаны некоторые зависимости $P_{\tilde{W}(y)}$, вычисленные по формуле (29) при условии, что $W(y) = 50 \text{ Ом}$.

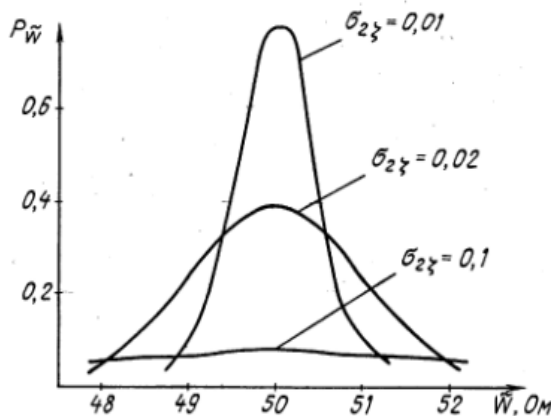


Рис. 2. Плотность вероятности волнового сопротивления

Для определения связи между коэффициентом диффузии $b(y)$ и $\sigma_{\tilde{W}}^2$ решим (17) относительно $g^2(y)$.

$$g^2(y) = \frac{1}{2N_0} \frac{d\sigma_{2Z}^2}{dy}, \quad (30)$$

откуда
$$b(y) = \frac{1}{4} \frac{d\sigma_{2Z}^2}{dy}. \quad (31)$$

Следовательно,

$$\int_0^y b(y) dy = \frac{1}{4} \left[\sigma_{2Z}^2(y) - \sigma_{2Z}^2(0) \right]. \quad (32)$$

Из (15) следует, что $\sigma_{2Z}^2(0) = 0$. Поэтому

$$\int_0^y b(y) dy = \frac{1}{4} \sigma_{2Z}^2(y). \quad (33)$$

Так как коэффициент диффузии $b(y) \geq 0$, то функции σ_{2Z}^2 и $\sigma_{\tilde{W}}^2/A^2$ являются неубывающими (27).

Таким образом, зная среднеквадратическую ошибку в воспроизведении волнового сопротивления $\sigma_{\tilde{W}(y)}$, из (27) находим σ_{2Z}^2 и величину интеграла (33). Далее методом [1] можно найти вероятность пребывания волнового сопротивления в пределах заданных границ.

Выводы

На основе теории Марковских процессов, получена формула для плотности вероятности математического ожидания и дисперсии волнового сопротивления неоднородной линии со случайными распределёнными неоднородностями. Методом [1] позволяет найти вероятность пребывания волнового сопротивления в пределах заданных границ.

Список литературы

1. Kozlovskiy V.V. Mathematical model of distributed transfer information highways / V.V. Kozlovskiy, D.P. Chyrva // *Electronics and Control Systems*. – 2016. – N 2(48). – P. 146-151
2. Булинский А.В. Теория случайных процессов / А.В. Булинский, А.Н. Ширяев. – М.: Физматлит, 2005. – 548 с.

Надійшла до редколегії 22.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Н. Беркман, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ЩІЛЬНІСТЬ ІМОВІРНОСТІ ХВИЛЬОВОГО ОПОРУ НЕОДНОРІДНОЇ ЛІНІЇ З ВИПАДКОВИМИ РОЗПОДІЛЕНИМИ НЕОДНОРІДНОСТЯМИ

В.В. Козловський, Д.П. Чирва

Отримана формула для щільності ймовірності, математичного очікування і дисперсії хвильового опору неоднорідною лінією з випадковими розподіленими неоднорідностями.

Ключові слова: хвильовий опір; щільність ймовірності; дисперсія.

THE PROBABILITY DENSITY OF THE WSVE RESISTANCE OF INHOMOGENEOUS LINE WITH RANDOM DISTRIBUTED IN HOMOGENEITIES

V.V. Kozlovskiy, D.P. Chyrva

The formula for the probability density, the expectation and variance of the wave resistance of the line with a non-uniform distributed random in homogeneities.

Keywords: wave resistance; probability density; dispersion.

УДК 621.396.967.2

І.А. Штих

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

У статті наводиться аналіз ліній ідентифікації об'єктів в бойовому просторі та для всіх сфер бойових завдань/місії: повітря - повітря, повітря - поверхня, поверхня - поверхня, поверхня - повітря; описані сучасні технології, які використовуються в бойовій ідентифікації і визначені технологічні групи, які будуть грати певну роль в поточних і майбутніх реалізаціях ідентифікації об'єктів.

Ключові слова: системи ідентифікація об'єктів, лінії ідентифікації.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз літератури.

Успішне вирішення завдань Повітряними Силами та Сухопутними військами (СВ) на поле бою значної мірою визначається інформаційними системами до котрих відносяться і системи ідентифікації за ознакою «свій-чужий» [1, 2]. З розвитком сучасного озброєння збільшуються дальності ефективної стрільниці засобами поразки, які перебувають на озброєнні СВ. Динаміка сучасного бою й системи оперативного керування вогнем залишають мало часу для роздумів, а використання однакового озброєння протидіє сторін утрудняє процес швидкої ідентифікації виявлених об'єктів. Без перебільшення можна сказати, що практично всі союзники США, що брали участь у бойових операціях з американцями, так чи інакше, випробували на собі наслідку “дружнього вогню” - ударів і обстрілів з боку своїх же сил по коаліції. При цьому слід зазначити, що ударам «дружнього вогню» піддалися літальні апарати, зенітно-ракетні комплекси, танкові підрозділи та жива сила. Можна стверджувати, що існуючі системи радіолокаційної ідентифікації [1, 2] не стали загальновійськовими по цілому ряду причин. У зв'язку із цим, у цей час, питанням ідентифікації об'єктів приділяється значна увага [3 – 5]. Розглянемо основні напрямки створення й удосконалювання радіотехнічних систем ближньої дії.

Мета роботи: класифікація ліній ідентифікації об'єктів.

Основна частина

Загиблі і серйозні травми – неминучі наслідки бойових дій. Мета бою - його успішне завершення, незмінним є ризик наявності жертв при великій кількості солдатів. Але наявність жакливого факту та усвідомлення того, що власний солдат або союзник втратив своє життя не від руки ворога, а від руки своєї сторони. Маючи чітку мету забезпечення того, щоб ймовірність таких страшних подій краще зрозуміти і, отже, може бути зменшена, в ідеалі відкриття шляху до остаточної ліквідації цього жакливого яви-

ща, відомого як братовбивства. Для вирішення даної задачі були використані смарт-технології, які не є срібною кулею успіху. Щоб запропонувати найбільшу перспективу успіху необхідно поступове прийняття загальної системи, яка охоплює як технічні можливості, так і поведінку суб'єкта [3, 5].

Бойова місія поєднує в собі датчики, зв'язок і обчислювальні системи з тактики, методів і процедур, щоб забезпечити поінформованість на полі бою. Елемент такого знання є процес отримання точної характеристики підрозділів, що знаходяться на території ведення бою до такої міри, щоб було можливе застосування тактичних варіантів і ресурсів зброї в реальному часі і з високим ступенем надійності, відомий як бойова ідентифікація (БІ) [4].

Збройні сили повинні бути в змозі точно визначити всі об'єкти в бойовому просторі для всіх сфер бойових завдань: повітря-повітря, повітря-поверхня, поверхня-поверхня, поверхня-повітря. Поверхня включає землю, море і надра, відомі також як сухопутні і морські (рис. 1). Потреба в БІ істотно важлива командирам для ефективного ведення, в будь-який час, бойових сил, які можуть швидко і однозначно розпізнати ворогів, союзників і нейтральні сили в бойовому просторі; управляти і контролювати область бою; оптимально задіяти зброю і сили; і мінімізувати підсумкову кількість жертв.

Вимоги до БІ включають точну, своєчасну і надійну ідентифікацію союзників, противників і нейтральних сил; класифікацію супротивників по класу, типу і національності; а також поєднуваність, необхідна серед військ і бажана союзними державами. Складнощі, що виникають із-за даних вимог, вимагають такої архітектури БІ, яка поєднує як матеріальні, так і нематеріальні способи вирішення [3]. Нематеріальні рішення включають: доктрину; тактику, методи і процедури (ТМП); навчання. З точки зору вартості, нематеріальне рішення для подолання недоліків БІ стає ще більш нагальним, якщо це не несе необґрунтованих труднощів для учасника бойових дій.

Однак, найчастіше нематеріальні рішення повинні підтримуватися матеріальними рішеннями. Вони можуть бути охарактеризовані як спільні/не-

ювати і обробляти його своєчасно; продуктивність знижується пропорційно до втоми оператора і змінюється в залежності від підготовки оператора. Точніше, метою АРЦ є підтримка швидкого і надійного виявлення, геолокації, відстеження, розпізнавання і пріоритетності цілей.

В цілому, АРЦ надає кілька перспективних технологій для Бі. Кількість автоматизації, які можуть бути надані АРЦ відноситься до того чи іншого ступеня ідентифікації об'єкта, необхідних для функціональної можливості Бі.

Однак побудова системи за принципом «запит-відповідь», тобто за принципами:

- систем масового обслуговування з відмовами;
 - обслуговування окремого сигналу запиту;
 - несинхронної мережі систем ідентифікації
- при такій кількості ліній ідентифікації ставить сумнів у виконанні функцій, закладених у дану систему. Дійсно, подібні системи не можуть бути захищені від навмисних корельованих завад і, як наслідок, не можуть бути віднесені ні до завадостійких ні до завадозахищених. Створення завадозахищених ідентифікаційних систем ближньої дії можливо за рахунок спадкоємного переходу від обслуговування окремого сигналу запиту до обслуговування окремого абонента чи мережі в цілому, переходу до беззапитальних методів ідентифікації, переходу від несинхронної до синхронної мережі систем ідентифікації, що, як показано у [8], унеможливить обслуговування корельованих завад. Слід зазначити що впровадження нових завадостійких систем ідентифікації, здатних діяти цілодобово та автоматизовані системи керування підрозділів дозволить:
- виключити поразку «своїх» об'єктів;
 - істотно збільшити дальність прицільної стрілянини в умовах обмеженої видимості;
 - скоротити час поразки об'єктів.

Висновки

Функціональні можливості Бі включають ідентифікацію ворога (включаючи тип платформи, клас, національність, союзність та інформацію про наміри), ідентифікацію союзників, ідентифікацію ней-

тральних сил і функціональної сумісності, які дозволяють мінімізувати підсумкову кількість жертв. Можливо стверджувати, що модернізація існуючих та створення нових систем ідентифікаційних іде у напрямках використання:

- радіотехнічних методів ідентифікації;
- використання більш коротких довжин хвиль;
- використання запитальних та беззапитальних методів ідентифікації;
- використання складних сигналів у якості сигналів запиту та відповіді;
- широким використанням геоінформаційних систем.

Список літератури

1. *Маляренко А.С. Системи вторичної радіолокації для управління повітряним рухом і державного радіолокаційного опознавання [Справочник] / Маляренко А.С. – Харків: ХУПС, 2007. – 78 с.*
2. *Сергеев А. Американская система радиолокационного опознавания МК12 / А.Сергеев, И.Тюрин // Зарубежное военное обозрение. 1983, № 8. – С. 55-58.*
3. *Kirke Charles M. Fratricide in Battle: (Un) Friendly Fire. – London: Continuum Books, 2012. – ISBN 978-1-4411-5700-3.*
4. *Combat Identification [Електронний ресурс] Режим доступа: <http://www.wslfweb.org/docs/dstp2000/jwstppdf/08-CID.pdf> – 24.09.2016 р. – Загл. з екрана.*
5. *D. Krause and J. Godfrey, "A Combat Identification (CID) Capability for the Land Environment," in Land Warfare Conference Proceedings 2004, pp. 176.*
6. *C.S. Boyd, R.S. Collyer, D.J. Skinner, A.E. Smeaton & S.A. Wilson, Project LAND 146 – Combat Identification for Land Forces – Technology Characterisation, ACPL-REPORT-53-2004-J48 version 1.0, Aerospace Concepts Pty Ltd, Canberra, 2005.*
7. *C.S. Boyd, R.S. Collyer, D.J. Skinner, A.E. Smeaton & S.A. Wilson, Project LAND 146 – Characterisation of Combat Identification Technologies, Aerospace Concepts Pty Ltd, Canberra, 2005.*
8. *Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, І.В.Свід, І.А.Штук – Харків: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.*

Надійшла до редколегії 23.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. І.І. Обод, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

И.А. Штых

В статье приводится анализ линий идентификации объектов в боевом пространстве и для всех сфер боевых задач / миссий: воздух - воздух, воздух - поверхность, поверхность - поверхность, поверхность - воздух; описаны современные технологии, используемые в боевой идентификации и определенные технологические группы, будут играть определенную роль в текущих и будущих реализациях идентификации объектов.

Ключевые слова: системы идентификация объектов, линии идентификации.

CLASSIFICATION SYSTEM FOR IDENTIFICATION OF OBJECTS

I.A. Shtykh

The article provides an analysis of object identification line in the battle space and for all areas of combat tasks / missions: air - air, air - surface, surface - surface, surface - air; describes the modern technology used in combat identification and technology group, will play a role in the current and future implementations of object identification.

Keywords: system identification of objects, identifying the line.

УДК 621.39

С.С. Шульгин

Національна академія оборони України, Київ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПОДХОДА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО КОДИРОВАНИЯ СЛОТОВ Р-КАДРОВ

Показывается необходимость обеспечения безопасности динамических видеoinформационных ресурсов. Излагаются этапы обоснования и разработки подхода для повышения доступности и целостности динамических видеoinформационных ресурсов в условиях обеспечения их конфиденциальности, достигающейся с использованием селективных методов. В данном случае закрытию подлежат базовые кадры. Разрабатываются рекомендации по формированию подхода для эффективного кодирования слотов Р-кадров для повышения безопасности динамического видеoinформационного ресурса с учетом закрытия базового кадра. Показано, что в этом случае обеспечивается: возможность учитывать не только интегрированные закономерности по всему слоту, но и учитывать локальность свойств в каждом его сечении; учет в процессе обработки не только статистические и психовизуальные закономерности, но и закономерности, обусловленные структурными свойствами слотов; баланс категорий безопасности информационного ресурса по целостности и доступности.

Ключевые слова: безопасность видеoinформации, поток видеокладов, дискретное косинусное преобразование, структурная межтрансформантная обработка, дифференциально-описанная спектрограмма.

Введение

Развитие технологий генерации кибернетического пространства связано с острой необходимостью обеспечения безопасности информационных ресурсов. Анализ информационных технологий выявил особый интерес такого направления относительно видеoinформационных ресурсов. Здесь возникают проблемные аспектами вопросы вызванные требованием одновременного обеспечения таких аспектов, как: сокращения избыточности, снижения битовой интенсивности, повышения конфиденциальности, целостности и доступности видеoinформации [1 - 3].

Подход для развития такого направления исследований состоит в использовании селективных методов защиты видеoinформации на базе технологий MPEG и H264. В случае обработки динамических видеoinформационных ресурсов вариант селективного подхода заключается в закрытии базового кадра [3; 4]. Тогда значимая нагрузка на обеспечения вопросов доступности и целостности возлагается на процесс обработки последовательности предсказанных кадров (Р-кадров) [3]. В тоже время такой подход обработки потока видеокладов связан с наличием дисбаланса между обеспечением требуемого уровня снижения битовой интенсивности и уровнем внесения потерь целостности информации. Поэтому, актуальным требованием, определяющим *научно-прикладную задачу*, является создание систем эффективной обработки динамических видеoinформационных ресурсов в режимах сохранения необходимого уровня целостности информации. Направлением решения такой задачи является построение технологий обработки ДВИР с использованием методов устраняющих межкадровую избыточность на базе структурно-

комбинаторного подхода. Одной из реализаций такого подхода в случае обработки динамических видеoinформационных ресурсов является метод обработки слотов Р-кадров с выявлением межтрансформантных структурных закономерностей [5]. Поэтому *цель исследований статьи* заключается в построении рекомендаций по формированию подхода для эффективного кодирования слотов Р-кадров.

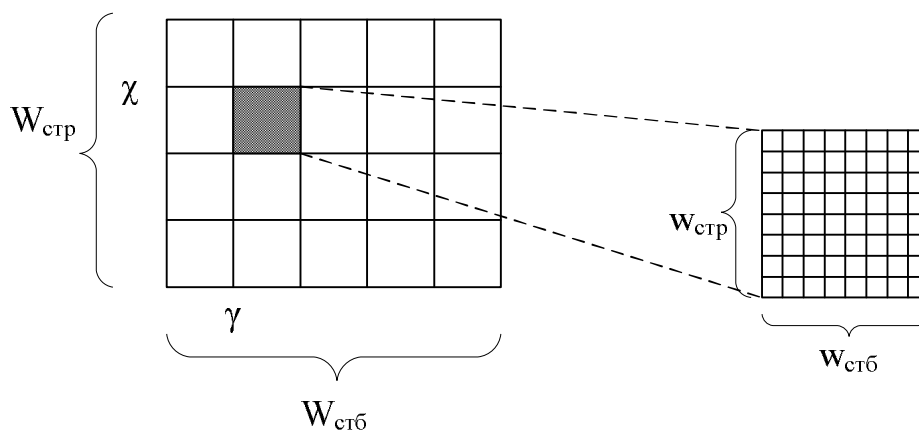
Разработка рекомендаций по формированию подхода для эффективного кодирования слотов Р-кадров

Для повышения эффективности формирования и обработки кадров Р типа *предлагается* осуществлять предварительно трансформирование видеокладра из пространственно-временного в пространственно-спектральное описание. Для этого выполняются такие действия:

1. Цветовая плоскость видеокладра $X(\tau)$ разделяется на массивы $X(\tau)_{\chi,\gamma}$ размером $w_{стр} \times w_{стб}$ [2]. Такой процесс называется сегментацией (рис. 1).

Разделение на массивы (сегменты) проводится для: снижения количества операций на обработку; повышения степени когерентности (коррелируемости) обрабатываемых данных.

2. Для сегментов видеокладра выполняется двумерное дискретное косинусное преобразование. Такой этап обработки Р-кадров согласуется со стандартной технологией, подразумевающей выполнение ДКП. В этом случае осуществляется аппроксимация массивов исходных видеокладров на основе базисов ортогональных преобразований. Это позволит учитывать укрупненные корреляционные зависимости между несколькими элементами изображения.



τ - позиция кадра в группе кадров; (χ, γ) - координаты массива в видеокадре;
 $W_{стр}$ - количество строк в массиве; $W_{стб}$ - количество столбцов в массиве

Рис. 1. Сегментация видеокадра на массивы

Использование в качестве базисов аппроксимации дискретного косинусного преобразования объясняется следующими его достоинствами:

1) является наиболее близким к преобразованию Корунэна-Лозва (ПКЛ) в плане декорреляции (для большинства сигналов);

2) обеспечивает лучшие характеристики при обработке оптических изображений, текстурных участков изображений, плавных переходов, сигналов Гауссовской природы;

3) на вычисление затрачивается меньшее количество машинных операций, чем на дискретное волновое (wavelet) преобразование. В результате выполнения ДКП формируются массивы коэффициентов базисных функций – трансформанта $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$. Совокупность трансформант для фиксированного τ образуют трансформированный кадр $Y(\tau)$, т.е.

$$Y(\tau) = \{Y(\tau)_{\chi,\gamma}\}, \quad \chi = \overline{1, W_{стр}/w}, \\ \gamma = \overline{1, W_{стб}/w}.$$

Соответственно совокупность кадров $Y(\tau)$ по τ , где $\tau = \overline{1, T}$, образуют группу трансформированных кадров Y_T , а именно:

$$Y_T = \{Y(\tau)\}, \quad \tau = \overline{1, T}.$$

На *третьем этапе* организуется устранение межтрансформантной (временной) избыточности. На данном этапе, после получения трансформант двумерного преобразования, проводится построение дифференциального представления на основе формирования величин разностей между соответствующими компонентами по позициям в кадрах. Здесь учитывается наличие корреляционных зависимостей между компонентами двумерных трансформант дискретного косинусного преобразования (поскольку степень декорреляции сокращается только внутри кадров). Поэтому в результате формирования предсказанных кадров (кадров Р типа) сокращается межтрансформантная избыточность.

Предсказанные кадры *предлагается* строить с использованием процедуры адаптивного предсказания вперед. На ее основании производится вычисление значения разности $\Delta y(\tau+1)^{(k,\ell)}$ между значениями компоненты $y(\tau+1)^{(k,\ell)}$ текущего $(\tau+1)$ -го трансформированного кадра с соответствующей (k, ℓ) -ой компонентой $y(\tau)^{(k,\ell)}$ в предыдущем трансформированном кадре (рис. 2). Процедура предсказания основывается на аппроксимации формы межтрансформантного сигнала, т.е. описания кривой с помощью значений этой кривой в отдельных позициях и восстановление ее формы на приемном конце по этим отдельным отсчетам.

Такая аппроксимация, в общем, отображается следующей формулой:

$$y(\tau)^{(k,\ell)} = \sum_{t=1}^p \alpha_t y(\tau-t)^{(k,\ell)}, \quad (1)$$

где α_t – коэффициент аппроксимации; p – порядок модели.

Важный принцип предсказания – это принцип "сохранения предыдущего значения", т.е. предполагается, что значение предыдущей компоненты сохранится и в последующий момент времени. Формула (1) тогда модифицируется в следующий вид:

$$y(\tau)^{(k,\ell)} = \alpha_t y(\tau-1)^{(k,\ell)}; \quad \alpha_t = 1.$$

В этом случае дифференциальное описание трансформированного кадра определяется величинами $e(\tau+1)^{(k,\ell)}$, которые находятся по формуле:

$$e(\tau+1)^{(k,\ell)} = \Delta y(\tau+1)^{(k,\ell)} = y(\tau+1)^{(k,\ell)} - y(\tau)^{(k,\ell)},$$

где $e(\tau+1)^{(k,\ell)}$ - значение разности между значениями компоненты $y(\tau+1)^{(k,\ell)}$ текущего $(\tau+1)$ -го трансформированного кадра и с соответствующей (k, ℓ) -ой компонентой $y(\tau)^{(k,\ell)}$ в предыдущем τ -м трансформированном кадре.

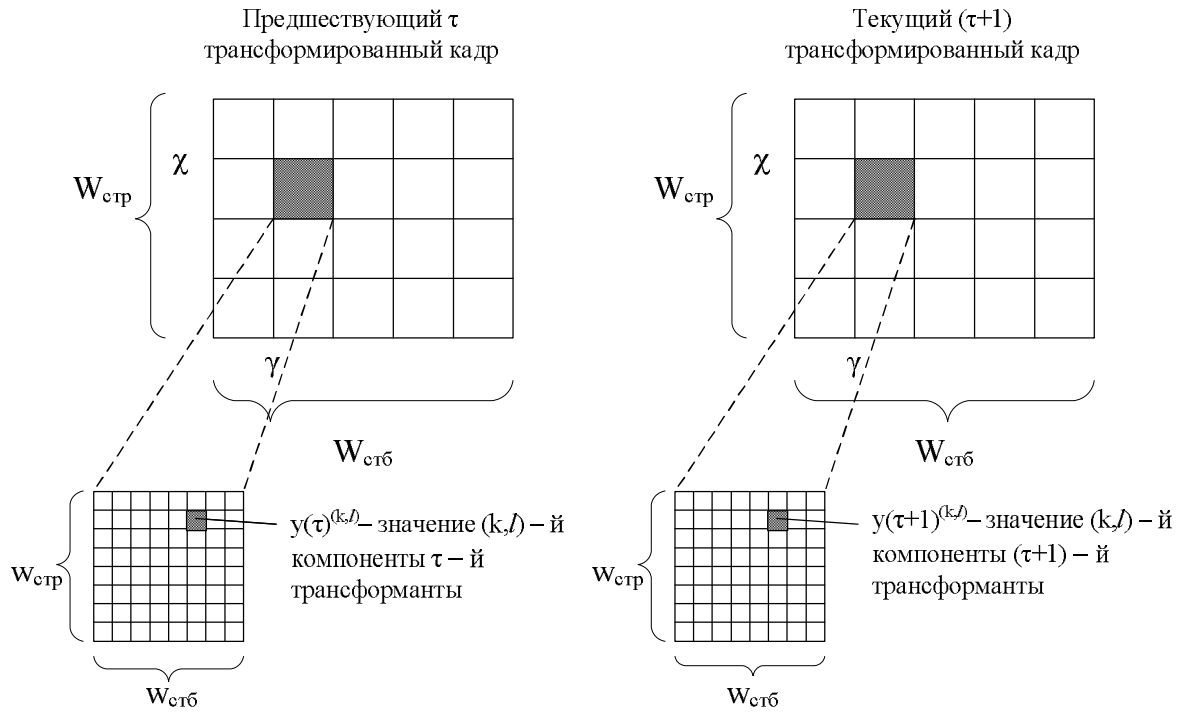


Рис. 2. Размещение компонент трансформант в процессе обработки

Восстановление исходных элементов на приемной стороне заключается в том, что к предыдущему значению компоненты прибавляется разность, т.е.

$$y'(\tau+1)^{(k,\ell)} = y'(\tau)^{(k,\ell)} + e'(\tau+1)^{(k,\ell)}.$$

Совокупность предсказанных разностных значений $e(\tau)^{(k,\ell)}$ для трансформанты $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$ представляется в виде двумерного массива $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ размером $w \times w$ элементов. Здесь $e(\tau)^{(k,\ell)}$ – (k,ℓ) -я разностная компонента $(\chi;\gamma)$ -ого сегмента для τ -го трансформированного кадра; $(W_{стр} \cdot W_{стб} / w \cdot w)$ – количество трансформант размером $W \times W$, которое формируется для кадра, содержащего $W_{стр} \cdot W_{стб}$ элементов.

Соответственно массив $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ образует дифференциальное представление трансформанты $Y(\tau)_{\chi,\gamma}$

для τ -го кадра, $Y(\tau)_{\chi,\gamma} \xrightarrow{f_e} E(\tau)_{\chi,\gamma}$, f_e – функционал, процедуры формирования межтрансформантного дифференциального представления.

Для предложенного подхода образуется базовый кадр. Данный кадр является первым в группе трансформированных кадров, т.е. для $\tau=1$. Базовый кадр $Y(1)$ остается неизменным, и участвует в межтрансформантном дифференциальном описании как опорный. В отличие от стандартизированной технологии предлагается из группы кадров исключить кадры В-типа. Это позволит создать условия для повышения целостности динамического видеопотока.

В результате чего, группа Y_T трансформированных кадров заменяется на совокупность, состоящую из одного базового трансформированного кадра $Y(1)$ и последовательности E_{T-1} дифференциально-представленных трансформированных кадров $E(\tau)$, $\tau = 2, \overline{T}$, т.е. $Y_T \rightarrow \{Y(1); E_{T-1}\}$.

В данной формуле составляющая E_{T-1} представляет собой последовательность, длиной $(T-1)$ кадр, и записывается как

$$E_{T-1} = \{E(2), \dots, E(T)\}.$$

Здесь каждый дифференциально-описанный трансформированный (ДОТ) кадр $E(\tau)$ образуется по совокупности двумерных массивов $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ размером $W \times W$ элементов или

$$E(\tau) = \begin{pmatrix} E(\tau)_{1,1} & \dots & E(\tau)_{1,\gamma} & \dots & E(\tau)_{\chi,W_{стб}} \\ & & & & \\ & & & & \\ E(\tau)_{\chi,1} & \dots & E(\tau)_{\chi,\gamma} & \dots & E(\tau)_{\chi,W_{стб}} \\ & & & & \\ & & & & \\ E(\tau)_{W_{стр},1} & \dots & E(\tau)_{W_{стр},\gamma} & \dots & E(\tau)_{W_{стр},W_{стб}} \end{pmatrix}.$$

При этом срез по τ составляющей в последовательности ДОТ кадров образует слот ДОТ кадров, состоящий из последовательности двумерных массивов $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ для $\tau = \overline{2, T}$. Слот $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ ДОТ кадров представляется следующим выражением:

$$E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)} = \{E(2)_{\chi,\gamma}, \dots, E(\tau)_{\chi,\gamma}, \dots, E(T)_{\chi,\gamma}\},$$

где $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ – последовательность (слот) двумерных массивов.

Слот $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ фактично представляє собою сквозню квадратну трубу вирізану вдоль послідовності ДОТ кадрів на позиції $(\chi;\gamma)$,

в кожному сеченні якого знаходиться двумірний масив $E(\tau)_{\chi,\gamma}$ диференціального описання трансформованного кадра (рис. 3).

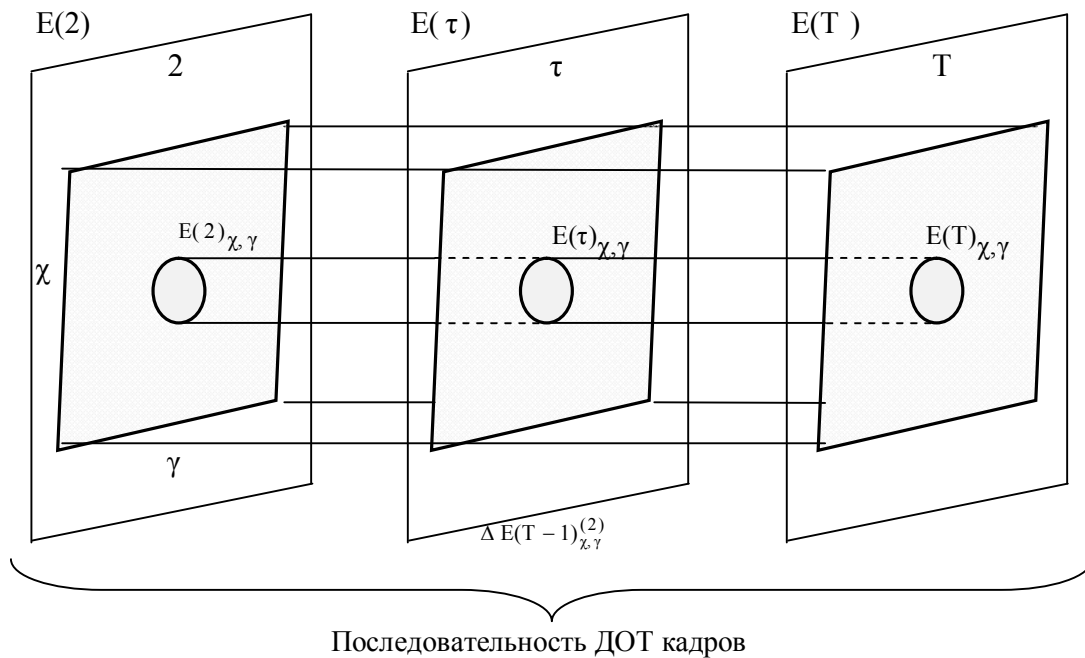


Рис. 3. Схема позиціонування слота в послідовності ДОТ кадрів

Організація диференціального описання з попереднім трансформованим кадрів забезпечує ряд переваг відносно варіанта формування диференціального представлення для вихідних кадрів. Оцінка таких переваг з позиції слота ДОТ кадрів виглядає наступним чином:

1. Обезпечується розділення структурних характеристик для низькочастотних і високочастотних компонент. При цьому для високочастотних компонент сусідніх трансформованих кадрів величина відхилення (розності) буде зменшуватися. Зменшення величини відхилення для значень низькочастотних компонент сусідніх трансформант досягається в разі наявності когерентності і незначительного змінення фону динамічних відеосцен.

2. Існує можливість додаткового зниження динамічного діапазону високочастотних компонент трансформант за рахунок попереднього їх квантування. В результаті накладаються додаткові обмеження на динамічний діапазон $d_e^{(k,\ell)}$ величин розності між компонентами сусідніх трансформант.

3. Для низькочастотних компонент значення відхилень між сусідніми трансформантами будуть обмежені за рахунок того, що: такі компоненти несуть інтегровану інформацію про яскравість вихідного фрагмента відеокadra, але в той же час існує кореляція між кадрами в відеопотоці.

Виявлені властивості вказують на перспективність обробки слотів Р-кадрів в напрямку

часової осі, т.е. з урахуванням міжтрансформантної надлишковості. Тут необхідно базуватися на таких фактах, а саме те, що:

а) за рахунок формування ДОТ кадрів усунуто частинна кореляція між компонентами сусідніх трансформант, т.е. враховувались кореляційні зв'язки другого порядку (на глибину двох кадрів). Але при цьому не враховуються кореляційні і структурні залежності на глибину декількох кадрів групи;

б) підвищується стійкість до помилок в каналі зв'язку (цілісність) до помилок в каналі зв'язку.

Тому *пропонується* обробку Р-кадрів проводити в міжтрансформантному напрямку по часової осі по слотам.

Для виконання вимог відносно підвищення безпеки динамічних ВИР на основі підвищення ефективності синтаксического представлення слотів Р-кадрів з урахуванням структурних і статистичних властивостей ДОС *пропонується* вибирати в якості базового підходу – структурно-комбінаторний принцип описання.

Даний підхід базується на синтезі функціонала $F(E^{(k,\ell)})_{\text{арг}}$, задаючого синтаксическе представлення (аппроксимацию) диференціально-описаної спектрограми $E^{(k,\ell)}$. При побудові функціонала $F(E^{(k,\ell)})_{\text{арг}}$ необхідно враховувати наступне:

- обмежені значення динамічних діапазонів елементів ДОС;

- длина дифференциально-описанной спектрограммы устанавливается заранее до начала процесса обработки;

- необходимость восстановления элементов ДОС в условиях обеспечения требуемого уровня целостности динамических ВИР;

- выявление закономерностей по результату анализа всех элементов ДОС;

- учитывать, что значения элементов $e(\tau)^{(k,\ell)}$ ДОС принимают как положительные, так и отрицательные значения, т.е.

$$e(\tau)^{(k,\ell)} = \begin{cases} e(\tau)^{(k,\ell)}, & \rightarrow e(\tau)^{(k,\ell)} \geq 0; \\ -e(\tau)^{(k,\ell)}, & \rightarrow e(\tau)^{(k,\ell)} < 0. \end{cases}$$

Отсюда значения элементов $e(\tau)^{(k,\ell)}$ в общем случае будут изменяться в таком диапазоне

$$e_{\min}^{(k,\ell)} \leq e(\tau)^{(k,\ell)} \leq e_{\max}^{(k,\ell)},$$

где $e_{\min}^{(k,\ell)}$ - минимальное значение элемента в ДОС, вычисляемое как $e_{\min}^{(k,\ell)} = \min_{2 \leq \tau \leq T} \{e(\tau)^{(k,\ell)}\}$; $e_{\max}^{(k,\ell)}$ - максимальное значение элемента в ДОС, которое определяется по формуле $e_{\max}^{(k,\ell)} = \max_{2 \leq \tau \leq T} \{e(\tau)^{(k,\ell)}\}$.

Соответственно с чем, динамический диапазон $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$ с учетом разброса в области положительных и отрицательных значений (с учетом знака элементов ДЛС) будет равен $\bar{d}_e^{(k,\ell)} = |e_{\min}^{(k,\ell)} - e_{\max}^{(k,\ell)}| + 1$. Тогда согласно структурно-комбинаторному подходу количество $Q(T-1)_e^{(k,\ell)}$ различных ДОС, длиной $(T-1)$, которое можно составить в случае наложения ограничения на диапазон $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$ значений их элементов $e(\tau)^{(k,\ell)}$, будет равно

$$Q(T-1)_e^{(k,\ell)} = (|e_{\min}^{(k,\ell)} - e_{\max}^{(k,\ell)}| + 1)^{T-1} = (\bar{d}_e^{(k,\ell)})^{T-1}.$$

В соответствии с чем, максимальная битовая интенсивность $V(T-1)_e^{(k,\ell)}$ синтаксического представления ДОС оценивается по формуле

$$\begin{aligned} V(T-1)_e^{(k,\ell)} &= \log_2 Q(T-1)_e^{(k,\ell)} = \\ &= ((T-1) [\log_2 (|e_{\min}^{(k,\ell)} - e_{\max}^{(k,\ell)}| + 1)] + 1) = \\ &= ((T-1) [\log_2 \bar{d}_e^{(k,\ell)}] + 1). \end{aligned}$$

Откуда суммарная битовая интенсивность $V(T-1)_{\chi,\gamma}$ на синтаксическое представление слота $E(T-1)_{\chi,\gamma}^{(2)}$ и битовая интенсивность $V(T-1)$ для всей последовательности E_{T-1} кадров Р-типа, на основе предложенного подхода будет оцениваться соответственно следующими соотношениями:

$$V(T-1)_{\chi,\gamma} = \sum_{k=1}^w \sum_{\ell=1}^w V(T-1)_e^{(k,\ell)} =$$

$$= (T-1) \sum_{k=1}^w \sum_{\ell=1}^w ([\log_2 \bar{d}_e^{(k,\ell)}] + 1);$$

$$V(T-1) = \sum_{\chi=1}^{W_{стр}} \sum_{\gamma=1}^{W_{стб}} V(T-1)_{\chi,\gamma}.$$

Анализ полученных выражений позволяет заключить то, что битовая интенсивность $V(T-1)$ последовательности Р-кадров будет снижаться с уменьшением значений динамических диапазонов $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$ дифференциально-описанных спектрограмм $E^{(k,\ell)}$. При этом поскольку динамический диапазон $\bar{d}_e^{(k,\ell)}$ ДОС не превышает значения динамических диапазонов $d^{(k,\ell)}$ для спектрограммы и $d_x^{(k,\ell)}$ - для последовательности элементов исходных кадров группы, то в результате предложенного подхода создаются условия для повышения эффективности синтаксического представления динамического ВИР.

Однако необходимо выделить наличие недостатков такого подхода относительно формирования синтаксического представления ДОС, которые связаны с тем, что:

- длина $(T-1)$ дифференциально-описанной спектрограммы (ДОС) выбирается заранее и является фиксированной на локальном промежутке видеопотока;

- динамический диапазон элементов ДОС определяется по факту обработки фиксированного количества межтрансформантных разностей.

Это может привести к потере адаптивности относительно изменения структурных и статистических характеристик кадров группы. Для устранения таких последствий возможны такие направления:

1) использовать технологии компенсации закономерностей. Но они приводят к росту информационной интенсивности;

2) оставлять высокое значение динамического диапазона ДОС;

3) использовать несколько значений динамических диапазонов с учетом реальной обстановки. Такое направление характеризуется недостатками: в случае нестационарности характеристик кадров увеличивается количество служебных данных (необходимость передавать все значения динамических диапазонов для каждой ДОС), так как формируется большое количество различных подпоследовательностей в пределах одной ДОС; необходимо передавать дополнительную информацию о неравномерных длинах каждой подпоследовательности; для ДОС, содержащих большое количество равных элементов, все равно формируется два ограничителя на динамический диапазон; если в ДОС не все элементы будут равны друг другу, то в случае появления равных элементов они также будут рассматриваться в процессе построения синтаксического представления как не равные.

Выводы

1. Обоснован и разработан подход для повышения доступности и целостности динамических видеoinформационных ресурсов в условиях обеспечения их конфиденциальности обеспечивающийся с использованием селективных методов. При этом учитывается то, что в процессе селективной обработки видеопотоков:

- закрытию подлежат базовые кадры. Это приводит к тому, что степень их компрессионного представления стремится к единице;

- наибольшее влияние на повышение битовой интенсивности (снижение доступности ДВИР) и потери целостности оказывают последовательности Р-кадров.

2. Обоснованы и разработаны рекомендации по формированию подхода для эффективного кодирования слотов Р-кадров для повышения безопасности динамического видеoinформационного ресурса с учетом закрытия базового кадра. Рекомендации базируются на следующих процессах:

1) осуществляется предварительное трансформирование видеокadra из пространственно-временного в пространственно-спектральное описание;

2) формирования предсказанных кадров достигается путем построения дифференциального представления на основе образования величин разностей между компонентами по позициям в кадрах

3) обработка Р-кадров проводится в межтрансформантном направлении по временной оси по слотам (сквозная квадратная труба вырезанная вдоль последовательности ДОТ кадров).

В этом случае обеспечивается:

1) возможность учитывать не только интегрированные закономерности по всему слоту, но и учи-

тывать локальность свойств в каждом его сечении;

2) учет в процессе обработки не только статистические и психовизуальные закономерности, но и закономерности, обусловленные структурными свойствами слотов;

3) формирование кодовые конструкции, обладающие свойствами компенсации лавинного эффекта распространения ошибок в канале связи;

4) баланс категорий безопасности информационного ресурса по целостности и доступности.

Список литературы

1. Андреев А. Применение видеоконференцсвязи в Вооружённых силах иностранных государств / А.Андреев, В.Аржанов, К.Семёнов // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С.19 – 25.

2. Баранник В.В. Метод повышения информационной безопасности в системах видеомониторинга кризисных ситуаций / В.В. Баранник, Ю.Н. Рябуха, О.С. Кулица // Монография. – Черкассы, 2015. – 143 с.

3. Баранник В.В. Обоснование значимых (актуальных) угроз безопасности видеoinформационного ресурса систем видеоконференцсвязи профильных систем управления / В.В. Баранник, А.В. Власов // Информационно – управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2014. – № 3. – С. 23 – 27.

4. Баранник В.В. Селективный метод шифрования видеопотоку в телекоммуникационных системах на основе приховування базового I-кадру / В.В. Баранник, Д.І. Коломов, Ю.М. Рябуха // Наукоємні технології. – 2015. – № 2. – С. 69 – 77.

5. Баранник В.В. Модель оценки информативности слота Р-кадров на основе выявления структурно-градиентных межтрансформантных ограничений / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматики. – №172. – 2016. – С. 12 – 21.

Поступила в редколлегию 4.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ПІДХОДУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО КОДУВАННЯ СЛОТІВ Р-КАДРІВ

С.С. Шульгін

Вказується на необхідність забезпечення безпеки динамічних відеоінформаційних ресурсів. Викладаються етапи обґрунтування та розробки підходу для підвищення доступності та цілісності динамічних відеоінформаційних ресурсів в умовах забезпечення їх конфіденційності, що досягається з використанням селективних методів. В даному випадку закриття підлягають базові кадри. Розробляються рекомендації щодо формування підходу для ефективного кодування слотів Р-кадрів для підвищення безпеки динамічного відеоінформаційного ресурсу з урахуванням закриття базового кадру. Показано, що в цьому випадку забезпечується: можливість враховувати не тільки інтегровані закономірності по всьому слоту, а й враховувати локальність властивостей в кожному його перетині; облік в процесі обробки не тільки статистичних і психовізуальних закономірностей, але й закономірності, обумовлені структурними властивостями слотів; баланс категорій безпеки інформаційного ресурсу по цілісності і доступності.

Ключові слова: безпека відеоінформації, потік відеокадрів, дискретне косинусне перетворення, структурна міжтрансформантна обробка, диференційно-описана спектрограма.

RECOMMENDATIONS ABOUT FORMATION OF APPROACH FOR EFFECTIVE CODING OF SLOTS OF P-FRAMES

S.S. Shulgin

Need of safety of dynamic video information resources is shown. Stages of justification and development of approach for increase of availability and integrity of dynamic video information resources in the conditions of ensuring their confidentiality which is reached with use of selective methods are stated. In this case basic shots are subject to closing. Recommendations about formation of approach for effective coding of slots of P-frames for increase of safety of a dynamic video information resource taking into account closing of a basic frame is developed. It is shown what in this case is provided: an opportunity to consider not only the integrated regularities on all slot, but also to consider locality of properties in each his section; the account in processing not only statistical and psychovisual regularities, but also the regularities caused by structural properties of slots; balance of categories of safety of information resource on integrity and availability.

Keywords: safety of a video information, a flow of the video footage, discrete cosine transformation, structural intertransformant processing, the differential described spectrogram.

ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

УДК 628.517.2

С.В. Бондарчук

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ АвіАЦІЙНОГО ШУМУ НА ЛЮДИНУ

В статті розглядаються деякі питання про вплив шуму на людину, як шкідливого фактора, що виникає від повітряних суден та інших механізмів, які використовуються в цивільній авіації. Наведено механізм нормування та стандартні значення показників шуму, показано вплив шуму на органи і системи людини. Надані рекомендації щодо зменшення шкідливої дії шуму на людину.

Ключові слова: шум, повітряне судно, авіаційний транспорт, цивільна авіація.

Вступ

Постановка проблеми. Сьогодні існування людства неможливе без авіаційного транспорту. Збільшується число пасажироперевезень, кількість аеропортів, літальна маса повітряних суден (ПС), все це супроводжується загостренням проблеми дії авіаційного шуму на людину. Проблема шуму залишається однією із важливих чинників шкідливого впливу нашої цивілізації на довкілля, вона не менш загрозлива ніж забруднення повітря або води. Шумове забруднення стає причиною різних захворювань, веде до погіршення якості життя і економічних втрат, знижує продуктивність праці на підприємствах країни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемою авіаційного шуму займаються широке коло дослідників, серед них: авіаційні конструктори, експлуатанти авіаційної техніки, екологи та інші науковці. Вивченням питання впливу шуму на людину займається досить широке коло організацій та науковців, серед них можна виділити Міжнародну організацію цивільної авіації (ІСАО), де створений комітет з охорони навколишнього середовища, Авіаційний науково-технологічний комплекс ім. Антонова, такі науковці як В.П.Бабак, С.К.Солдатов, М.В.Фокін, А.В.Богомолів, В.М.Зінкін та ін.[1,2,3,4]. Проте постійне вдосконалення авіаційної техніки, обслуговуючої інфраструктури, поява нових технологій та ізоляційних матеріалів актуалізує наукові дослідження в цій сфері, вимагає постійного моніторингу та внесення нових конструктивних пропозицій.

Формулювання мети статті. Цивільна авіація (ЦА) є однією з галузей, яка характеризується використанням передової технології і новітньої техніки. У ній використовуються різноманітні засоби аеронавігації, механізації, технічного обслуговування

ПС і устаткування аеропортів, технологічні процеси із застосуванням найсучаснішої апаратури, заснованої на використанні хімічних і радіоактивних методів, електромагнітного і ультразвукового випромінювання, рентгенівської техніки тощо. У той же час ЦА є галуззю, яка негативно впливає на довкілля в цілому і на здоров'я людей зокрема.

У зв'язку з цим, персонал авіапідприємств і населення, яке проживає у безпосередній близькості від аеропортів, аеродромів підпадає під дію небезпечних і шкідливих виробничих факторів (ОВПФ) фізичного, хімічного, біологічного і психофізіологічного характеру.

Метою роботи було дослідити вплив авіаційного шуму на людину.

Виклад основного матеріалу

Шуми, що виникають під час роботи двигунів і різних аеродинамічних установок, впливають не лише на комфорт пасажирів і працездатність екіпажу літака, але і на людей, що мешкають в зоні дії цих шумів. Подразлива дія авіаційного шуму пов'язана, в першу чергу, з розміщенням аеропортів на околицях населених пунктів.

Документами Міжнародної організації цивільної авіації ІСАО (Додаток 16) визначені правила сертифікації літаків за рівнем шуму, що створюються повітряними суднами (ПС). Відомо, що звук характеризується двома основними властивостями - частотою і інтенсивністю. Частота вимірюється в герцах, а інтенсивність - у ватах на квадратний метр[3].

У 1971 році ІСАО розробила перший стандарт, що встановлює вимоги до шуму на місцевості для дозвукових реактивних пасажирських літаків, потім були прийняті стандарти до шуму для інших типів літальних апаратів (гвинтових літаків, гелікоптерів). У СРСР був прийнятий ГОСТ 17228-71, що обмежу-

вав шум на місцевості для дозвукових реактивних і гвинтових літаків, у подальші роки цей стандарт був посилений і були прийняті стандарти до шуму для гелікоптерів і надзвукових літаків.

Мірою оцінки шуму служить ефективний рівень сприйманого шуму EPNL, (англійське - effective perceive noise level), виражений в одиницях EPN дБ, що дає оцінку суб'єктивного сприйняття дії авіаційного шуму на людину. Система оцінки в EPN дБ враховує частотний склад шуму, що розповсюджується, наявність дискретних складових в спектрі і тривалість дії шуму. В якості параметру нормування в усіх стандартах використовується значення максимальної злітної маси літального апарату. Крім того, в нових стандартах для дозвукових реактивних

літаків допустимі рівні шуму при зльоті, що залежать від кількості двигунів, встановлених на літаку. Стандарти регламентують і методику проведення сертифікації випробувань шуму літальних апаратів, вживану апаратуру, систему обробки результатів випробувань і приведення до атмосферних умов: температура 25°C, тиск 1013,25 гПа, відносна вологість повітря 70%. Відповідно до стандартів рівні шуму великих літаків (з масою $m > 5700$ кг) нормуються в трьох контрольних точках на місцевості, розташованих при посадці на відстані 2 км від торця злітно-посадкової смуги (ЗПС), при зльоті — збоку від осі ЗПС на відстані 450 м, при наборі висоти — під траєкторією на відстані 6,5 км від місця старту, табл. 1.

Таблиця 1

Максимальні рівні шуму в точках виміру
для ПС залежно від максимально сертифікованої злітної маси

Точка виміру шуму	Максимальний рівень шуму EPNдБ
У точці виміру шуму збоку від ЗПС	Від 108 до 102
У точці виміру пролітного шуму	Від 108 до 93
У точці виміру шуму при заході на посадку	Від 108 до 102

Стандарт допускає перевищення рівнів шуму в одній або двох точках (при відповідному зниженні в інших), але не більше 3 EPN дБ в одній точці і сумарне перевищення не більше 4 EPN дБ відповідно до вимог розділу 2 (відповідно 2 і 3 EPN дБ за розділом 3). Такі літаки, як Як-40, Ту-134А, Ту-154Б, Іл-76Т, Іл-86 задовольняють вимогам за шумом на місцевості розділу 2, а Як-42, Ту-154М, Іл-62М — вимогам розділу 3.

Норми шуму для важких гвинтових літаків практично співпадають з вимогами розділу 3 для дозвукових реактивних літаків при зльоті і посадці, а при прольоті для гвинтових літаків застосовуються вимоги розділу 3 для літаків з чотирма двигунами. Для нових надзвукових літаків норм шуму поки що немає, але рекомендується орієнтуватися на вимоги

розділу 2 стандарту Міжнародної організації цивільної авіації [1]. Шум, що створюється на місцевості невеликими літаками (масою $m < 5700$ кг), нормується в одній контрольній точці при горизонтальному прольоті літака на висоті 300 м.

За стандартом граничний рівень шуму обмежений 68 дБ(А) для літака масою до 600 кг і 80 дБ(А) з масою $1500 \text{ кг} < m < 5700$ кг. При масі літака $600 \text{ кг} < m < 1500$ кг гранично допустимий рівень шуму пропорційний його масі.

Переконалівою одиницею є сприйманий шумовий децибел - PN дБ, що враховує не лише інтенсивність шуму, але і чутливість до нього вуха людини.

У Додатку 16 ІКАО обумовлені рівні шуму в точках ЗПС (табл. 2).

Таблиця 2

Рівні авіаційного шуму (EPN дБ) у точках контролю

Тип ПС	Набирання висоти		Зниження перед посадкою	
	модель	вимірювання	модель	вимірювання
Т - 154	99,2	100,1±1,2	105,8	106,0±0,9
Ту - 154 М	98,3	98,4±0,9	100,7	102,1±0,5
Ту - 204	97,0	96,0±2,6	102,2	99,9±2,7
Як - 40	91,2	90,3±3,9	98,7	97,2±3,8
Як - 42	93,8	93,4±0,7	103,7	102,4±1,6
Іл - 62 М	100,2	102,9±2,5	100,0	103,5±3,8
Іл - 86	107,6	107,4±0,6	105,7	105,1±0,3

Контрольна точка при посадці розташовується на відстані 1,85 км від торця ЗПС по її осьовій лінії. При трьох градусній глісаді літак пролітає над цією точкою на висоті близько 113 м. Контрольна точка на злеті розміщена на відстані близько 6,5 км від точки початку розгону по осьовій лінії ЗПС. Бічний шум контролюється в нефіксованій, будь-якій точці на лінії, паралельній ЗПС і що знаходиться від неї на 460 м для літаків, які мають до чотирьох двигунів і на 650 м для літаків, що мають чотири двигуни.

Аналізуючи результати досліджень можна зробити висновок про дратівливу і шкідливу фізіологічну дію авіаційного шуму на людину. Тому шум не випадково розглядається нині як один з найважливіших експлуатаційних характеристик сучасного літака [1 – 3].

Виділяють основні чинники, що є причиною генерування і поширення психологічної дії шуму літака на людину. Їх можна класифікувати за групами:

- зниження на посадку;
- набір висоти;
- ЗПС;
- відстань населених пунктів від аеропорту;
- характеристики шуму літака;
- інтенсивність руху літаків;
- особливості навколишнього середовища (наявність зелених зон тощо).
- випробування авіадвигунів їх прогрівання;
- технологічне устаткування ремонтних і експлуатаційних авіапідприємств цивільної авіації.

Людське вухо має певну особливість, яка полягає в неоднаковій чутливості до різних частот і оцінки шуму не лише по інтенсивності, але й по несподіваності появи, тривалості, повторюваності тощо. Для людини подвоєння інтенсивності звуку не відповідає подвоєнню уявних рівнів, а звуки різної частоти і однакової інтенсивності сприймаються не однаково гучно.

Розглянемо вплив шуму на організм людини. Відомо, що при 40 дБ починається порушення сну; з'являється роздратування, починаючи з 45 дБ; зміна мови, порушення нормальної роботи шлунку - при 60 дБ; погіршення працездатності - при 80 дБ.

Якщо слуховий апарат людини піддати тривалим або повторним діям досить гучного шуму, то настає тимчасова або постійна втрата слуху. У людини, яка знаходиться протягом 6-8 років під дією шуму інтенсивністю 90 дБ, настає помітне зниження слуху, що зникає приблизно через 1 рік після його припинення. Після декількох годин перебування під дією шуму інтенсивністю 115 дБ в осіб льотного і наземного обслуговуючого персоналу настає тимчасова втрата слуху в діапазоні середніх і високих частот, яка продовжується від декількох хвилин до декількох годин. Шум, який перевищує 120 дБ, дуже

швидко викликає у людини втому, що настає вже через декілька хвилин і супроводжується помітним зниженням слуху. У кожному окремому випадку ступінь втрати слуху і тривалість періоду відновлення пропорційні рівню інтенсивності й тривалості дії.

Обслуговуючий персонал, що виконує ремонтні роботи в той час, коли працюють двигуни ПС, часто скаржаться на головні болі, втрату почуття рівноваги. У більшій частині спектру чутних частот рівень шуму ПС із газотурбінними двигунами вищий, ніж з поршневіми. Високий рівень шуму від ПС із газотурбінними двигунами відноситься саме до тихий шумів, які особливо впливають на розбірливість мови, тобто шумів з частотами 300-3000 Гц.

Люди, що знаходяться поблизу працюючої силової реактивної або турбогвинтової установки, зазнають дії шуму, який перевищує допустимий рівень у багато разів.

Для того щоб мати уявлення про рівні шуму у безпосередній близькості від ПС з реактивними двигунами, можна навести такі дані. Максимальні пікові сумарні рівні звукового тиску (злітний режим), виміряні поблизу межі струменів газу на відповідних відстанях від зрізу сопів, складають: для авіадвигунів ПК-8 -157 дБ на відстані 8 м; Д-30 - 156 дБ на відстані 2-8,4 м; Д-2 ОП - 152 дБ на відстані 1-5 м.

За такої великої інтенсивності шум не тільки впливає на слух, але чинить й інші, психофізіологічні дії на людину. Усі частини тіла зазнають при цьому дію постійного тиску або відчуття пориву вітру; у кістках черепа, зубах тощо. Так само і в м'яких тканинах носа і горла, виникають вібрації. При рівні шуму 140 дБ (поріг больового відчуття) і вище відчуття тиску підсилюється і поширюється по всьому тілу, а грудна клітка, м'язи ніг і рук починають вібрувати.

Коли рівень інтенсивності шуму досягне 160 дБ, може статися розрив барабанної перетинки. При рівні шуму близько 180 дБ починають руйнуватися заклепкові й зварні шви ПС.

При віддаленні працівника від реактивного сопла шуми зменшуються, але навіть на відстані 30 м рівень інтенсивності шуму сучасного пасажирського літака із реактивними двигунами досягає приблизно 125-135 дБ, а на відстані 100 м — 115-124 дБ.

Вивчення дії шуму, на організм людини необхідне також для безпеки польотів. Наприклад, шум в літаку здатний впливати на центральну нервову систему, в результаті чого можуть спостерігатися зниження уваги, уповільнення реакцій екіпажа. У процесі праці шум негативно відбивається також на такі функції людини, як пам'ять, мислення тощо. Відомо, що шум відвертає увагу людини від виконання точних робіт.

3 метою зменшення шумової дії на довкілля при експлуатації ПС застосовуються наступні методи зниження авіаційного шуму:

1. Використовувати початкові і кінцеві ділянки траєкторій польоту літаків на ЗПС з метою відведення від зон максимального рівня шуму. В цілях зниження шуму може призначатися ЗПС відповідно для зльоту або посадки: це дозволяє літакам обходити уразливі до шуму зони на початковому етапі зльоту і завершальному - заходу на посадку (10-20 км.).

2. Використовувати пріоритетні за шумом маршрути, щоб літаки при вильоті і прибутті могли обходити зони, чутливі до дії шуму, які знаходяться під звичайними траєкторіями зльоту і заходу на посадку.

При встановленні таких маршрутів слід повністю враховувати критерії безпеки стандартних маршрутів вильоту і посадки відносно градієнтів набору висоти при подоланні перешкод та інших чинників.

3. Використовувати прийоми зниження шуму при зльоті або заході на посадку, що направлені на зведення до мінімуму загальної дії шуму на землі при одночасному дотриманні необхідного рівня безпеки польоту.

Засоби зниження шуму розробляються та вдосконалюються експлуатантом ПС для кожного типу літака. Ці прийоми призначені для зниження авіаційного шуму як в зонах прилеглих до аеропорту (аеродрому), так і в зонах віддалених від нього.

Командир ПС має право прийняти рішення не виконувати відповідний засіб зниження шуму, якщо умови перешкоджають його безпечному застосуванню.

Висновки

Таким чином, літакобудування та авіаційна галузь сьогодні збільшують свою частку в структурі пасажиро- та транспортних перевезень. Відтак посилюється проблема впливу авіаційного шуму на довкілля, людину та інфраструктуру. Існуючі нормативи потребують постійного моніторингу та вдосконалення що враховувало б технічну модернізацію авіаційного парку та обслуговуючої інфраструктури, появу нових ізоляційних матеріалів, захисних засобів та прийомів і методів пониження негативного впливу шуму.

Список літератури

1. *Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. За ред. В.П. Бабака. – К.:Техніка, 2004. – 584 с. – ISBN 966-575-171-9.*
2. *Солдатов С.К. Человек и авиационный шум / С.К. Солдатов, В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин. – М.: Новые технологии, 2012. – 24 с. (Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – № 10. – 2012. – ISSN 1684-6435).*
3. *Охрана окружающей среды: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том 1 Авиационный шум/ ICAO. – Монеаль, 2014. – 205 с. – ISBN 978-92-9249-600-5.*
4. *Фокин М.В. Оценка риска для здоровья населения от воздействия авиационного шума / М.В.Фокин [и др.] // Гигиена и санитария. 2009. – № 5. – С. 29–32. – ISSN: 0016-9900.*

Надійшла до редколегії 26.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. К.С. Нестеренко, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград.

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ АВИАЦИОННОГО ШУМА НА ЧЕЛОВЕКА

С.В. Бондарчук

В статье рассматриваются некоторые вопросы о влиянии шума на человека, как вредного фактора, что возникает от воздушного судна и других механизмов, которые используются в гражданской авиации. Приведен механизм нормирования и стандартные значения показателей шума, показано влияние шума на органы и системы человека. Приведены рекомендации по уменьшению вредного воздействия шума на человека.

Ключевые слова: шум, воздушное судно, авиационный транспорт, гражданская авиация.

TO THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF AIRCRAFT NOISE ON A HUMAN

S.V. Bondarchuk

The article deals with the hazard of the influence of aircraft noise on a human. The paper also determines harmful factors which affect the nervous system and discloses mechanisms of determining qualitative and quantitative characteristics of aircraft noise. The article touches upon the issue of analyzing of the consequences that arise while operating of aircraft, assemblies and mechanisms applied in civil aviation, and have a harmful effect not only on aviation personnel but also on people who travel by air and live in settlements near airports.

The importance of the problem highlighted in the article is that people's need for air transport will eventually grow, and, therefore, the significance of looking for ways to reduce the impact of harmful factors on human health will increase. The article gives information about mechanisms of determining and rule-making of parameters (standards) of noise figures, depending on the aircraft airborne weight linking them to the place or the measuring points of these parameters. The article presents negative effects of aircraft noise on various human organs, depending on the quantitative characteristics. The paper provides recommendations to reduce harmful effects of noise on a human while operating of the system of air transport.

Keywords: noise, aircraft, air transport, civil aviation.

УДК 621.327:681.5

О.С. Кравцов¹, А.В. Омельченко¹, А.О. Подорожняк², Ю.П. Шамаєв¹¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Національний технічний університет "Харківський політехнічний університет", Харків

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДИФУЗІЇ ДОМІШОК В АТМОСФЕРІ З УРАХУВАННЯМ ІНВЕРСІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ

У статті викладені результати проведеного аналізу математичних моделей якості повітряного басейну та наведений опис моделі для точкових джерел забруднень з використанням гаусового рішення для стаціонарного точкового джерела і представлені результати математичного моделювання процесу дифузії домішок в повітряному басейні з урахуванням інверсій. Запропонована модель дозволяє провести оцінку якості повітряного басейну з урахуванням висоти забруднюючих джерел викидів та середньої висоти перемішування повітряних мас в атмосфері, що дозволить використовувати її при екологічному моніторингу генеральних планів міст та схем районних планувань.

Ключові слова: модель, точкове джерело забруднення, дифузія домішок, оцінка якості, екологічний моніторинг.

Вступ

При проектуванні генеральних планів міст або схем районних планувань з урахуванням розвитку міст, промисловості, будівництва, комунального господарства, а також забезпечення мінімальної дії на природне довкілля і при визначенні найбільш ефективних засобів відвертання перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин потрібне моделювання якості повітряного басейну на основі додаткової інформації по інвентаризації викидів. Чисельне моделювання дифузії і розсіювання основних концентрацій речовин забруднень, а також їх взаємозв'язку з джерелами викидів є єдиним практичним методом для отримання подібного роду інформації [1].

По деяких районах України можуть бути вирішені подібні завдання. Деякі території є цікавими зважаючи на наявність великої кількості комунальних та промислових підприємств, електростанцій, металургійних, нафтопереробних заводів, тощо.

Для визначення шляхів реалізації запропонованої концепції оцінки якості повітряного басейну необхідна модель процесу дифузії домішок в атмосфері з урахуванням інверсій для оцінки якості повітряного басейну та провести її дослідження.

Аналіз публікацій. Проведений аналіз літератури показав [2 – 5], що існує багато варіантів моделювання атмосферних забруднень однак вони не розглядають процес забруднення від багатьох точкових джерел забруднення та не враховують трьохвимірний процес дифузії домішок у повітряному басейні. Основним завданням для адекватного моделювання процесу забруднення повітря від багатьох точкових джерел є врахування різної висоти труб забруднювачів та особливостей розсіювання домішок в атмосфері при різних метеоумовах. Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане

з розробкою та дослідженням моделі точкових забруднень атмосфери населених пунктів, що враховує інверсії в процесі дифузії забруднюючих домішок в повітряному басейні.

Мета статті. Дана стаття присвячена розробці та дослідженню моделі процесу дифузії домішок в атмосфері з урахуванням інверсій для оцінки якості повітряного басейну.

Основна частина

Основою для інвентаризації джерел викидів є вивчення розподілу різних типів споживання палива. Найбільші промислові споживачі щомісячно представляють дані про споживання. Поступають також дані про щорічне споживання палива й на інші потреби, такі, як опалювання житлових і адміністративних будівель, використання палива невеликими промисловими підприємствами. Основним джерелом інформації для розрахунку викидів від житлових масивів, комунальних і промислових підприємств є дані про розділення населення на групи та видам використовуваного палива (вугілля, тверде, бездимне паливо, нафта) в кожному квадраті (1 км²) сітки на карті. Наприклад, річні об'єми викиду SO₂ для кожного квадрата сітки розраховувалися за допомогою коефіцієнтів, що характеризують споживання палива на одну людину, і коефіцієнтів, що характеризують викиди на одиницю палива [1]:

$$W_c = \sum_{i=1}^3 2P_i S_i (1 - q_i) N_i, \quad (1)$$

де W_c – річний об'єм викидів SO₂ в квадраті сітки; P_i – річне споживання i -го виду палива; S_i – відносний масовий вміст сірки у i -му виді палива; N_i – кількість людей, що знаходяться в квадраті сітки, які користуються i -м видом палива.

Розрахунок викидів від комунальних і промислових підприємств виконується на основі інформації про кожне джерело, сітки, що складається з координат квадрата, де він знаходиться, типу джерела, виду використання палива (т. е. опалювання приміщень або промисловий процес), річного його споживання, зміст сірки в паливі та висоти труби. Для кожного джерела розраховується річний об'єм викидів SO_2 . Наприклад, для диму

$$W_c = P_t \alpha_p, \quad (2)$$

де W_c – річний об'єм викидів для цього джерела; P_t – річне споживання палива; α_p – частка палива (по масі), що викидається у вигляді диму, величина α_p залежить від виду палива (вугілля, кокс, продукти перегонки нафти) і від розміру парового котла.

Великі джерела можуть розглядатися як декілька точкових. Висота точки викиду коригується розрахунком ефективної висоти, тобто до висоти труби додається підйом факела за рахунок конвекції. Підйом факела розраховується при нейтральній або нестійкій атмосфері. Розрахунок підйому факела роблять за наступною формулою:

$$\Delta H = 7.4 \alpha_p^{1/3} H^{2/3} U^{-1}, \quad (3)$$

де ΔH – висота підйому факела; α_p – параметр сили конвекції; H – висота труби; U^{-1} – швидкість вітру.

У тих випадках, коли немає достатньої кількості даних про характер викидів, сила конвекції розраховується на підставі відомостей про споживання палива в цьому районі з урахуванням втрати 15-20% енергії палива з паливними газами [1-2].

Ефективні висоти викидів для кожного типу джерел розраховуються або оцінюються, як для великих промислових джерел. При розрахунку передбачається, що викиди від промислових процесів відбуваються впродовж усього року, а викиди при опалюванні приміщень залежать від температури навколишнього повітря. Найпростішим видом залежності первинних викидів при опалюванні приміщень W_{cp} від температури будуть:

$$W_{cp}(T) = W_0 [a + b(T_3 - T)] \text{ при } T \leq T_3, \quad (4)$$

$$W_{cp}(T) = W_0, \quad (5)$$

де W_{cp} – середній річний об'єм викидів; T_3 – задана температура; T – середня температура навколишнього повітря; a і b – постійні параметри.

Нижче (табл. 1) приведені величини викидів (%) від різних типів стаціонарних джерел забруднень/Аналіз спостережуваних концентрацій забруднюючих речовин і їх взаємозв'язків з метеорологічними умовами важливий не лише з точки зору оцінки показників забруднення цієї місцевості. Він є цінним, якщо не найістотнішим, попереднім етапом розробки детальних моделей дифузії. Наприклад, виходячи з даних про

концентрації, можна оцінити деякі коефіцієнти турбулентності, залежної від конкретної місцевості, які повинні використовуватися в моделях. Крім того, різні характеристики спостережуваних концентрацій, наприклад інтегральні функції повторюваності цих концентрацій (рози забруднення) і залежність концентрацій від напрямку, можуть використовуватися при оцінці адекватності моделі.

Таблиця 1

Величини викидів (%) від різних типів стаціонарних джерел забруднень

	Дим	SO ₂
Обігрів жителів	62	1
Обігрів службових приміщень	1	1
Невеликі промислові підприємства	1	2
Середні промислові підприємства	4	7
Нафтопереробний завод і електростанції	32	89

Концентрація забруднюючих речовин приблизно дорівнює деякому середньому значенню, наприклад середньорічному. Повторюваність концентрації диму і SO_2 апроксимується нормальним розподілом:

$$f(C) = 1 / (C_\sigma \sqrt{2\pi}) \exp \left[-(\ln C - \ln C_q)^2 / (2\sigma^2) \right] \quad (6)$$

де $f(C)$ – щільність розподілу концентрації C ; C_σ – стандартне відхилення від середнього значення C ; C_q – середньоарифметична концентрація.

Норми якості навколишнього повітря зазвичай виражається у вигляді величин, усереднених за деякий період (наприклад, за рік) повторюваності можливого перевищення певних більш високих порогових значень. Враховуючи останнє, можна відмітити, що інтегральна функція розподілу має вигляд

$$F(C^*) = \int_{C^*}^{\infty} f(C) dC \quad (7)$$

Можливості моделей дифузії для передбачення реальних концентрацій в заданій точці і в заданий момент часу досить обмежені, тому за допомогою цих залежностей можна прогнозувати лише середню концентрацію і повторюваність концентрацій по території. Важливим випробуванням моделі (і одночасно основних метеорологічних даних про джерела викидів) є перевірка її здатності відтворювати спостережувані повторюваності концентрацій на різних майданчиках по усій території. Достовірність моделі збільшується, якщо з її допомогою можна відтворити повторюваності концентрацій забрудників при різних характеристиках джерел викидів. Спостережувані концентрації складаються з вкладів забруднюючих речовин, залежних від напрямку. Причиною цього є:

1) характеристики турбулентності атмосфери залежать від напрямку, часто повітряні потоки східного напрямку є стійкішими, ніж потоки західного напрямку;

2) ефективні потужності джерел, що лежать об'єкту, що з навітряного боку вивчається, можуть значно змінюватися. Особливо часто це спостеріга-

ється в такій місцевості, де міські території відносно невеликі і потужні джерела знаходяться в межах зони забруднення. Іншим способом описи спостережуваного забруднення на території. являються "рози забруднення", які дають також відповідну інформацію для будь-яких балансових розрахунків.

Оперуючи значеннями коефіцієнтів кореляції концентрацій речовин забруднень за добовими спостереженнями для окремих майданчиків і типовими коефіцієнтами кореляції приведених значень концентрацій, спостережуваних на різних майданчиках впродовж якогось періоду часу можна судити достовірно про режим негативного стану території, що вивчається, і визначити поле концентрації речовин забруднень залежно від метеорологічних умов.

Взаємозв'язок між концентраціями речовин забруднень і метеорологічними змінними може бути представлена за допомогою множинного регресійного аналізу у вигляді лінійної функції логарифмів цих змінних, тобто у вигляді рівняння регресії виду:

$$\ln C = a + b \ln C^* + c \ln(T_3 + T_B - T) + d \ln V, \quad (8)$$

де C – концентрація речовин забруднення; T і V – середньодобова температура повітря та поточна швидкість вітру; C^* – концентрація в попередній день, включена внаслідок кореляції між двома послідовними серіями даних; T_3 – задана температура.

Рівняння (8) часто розглядається в якості регресійної (статистичної) моделі. Така модель, якщо її постійно модернізувати, може використовуватися в схемах короткострокового прогнозування, наприклад, сильного забруднення. Проте важливо відмітити, що модель працює тільки для тієї конкретної місцевості і для того діапазону залежних і незалежних змінних, для яких і були вичислені коефіцієнти регресії. Рівняння (8) не можна використати для прогнозу негативних ефектів, пов'язаних з інверсією і зі зміною характеристик джерел викидів для будь-якої місцевості.

Методи оцінки якості повітряного довкілля полягають у відшукуванні рішень рівнянь дифузії домішок і розробці способів розрахунку забруднень атмосфери з урахуванням названих вище за чотири природні чинники, а також зростання потужностей промисловості і очікуваних викидів шкідливих речовин. При цьому поширення домішок описується рівнянням дифузії.

Необхідно також враховувати рівняння конвективної дифузії, яке згідно напівемпіричної теорії турбулентності розглядається нелінійним зі змінними коефіцієнтами дифузії по трьох напрямках. Аналітичне рішення його невідомо, тому доводиться робити спрощення нелінійного рівняння дифузії, грунтуючись на аналізі фізики явища і спостереженнях.

Наприклад, при розробці прогнозу забруднення атмосфери міста може бути прийнята гіпотеза про те, що анізотропія коефіцієнта дифузії враховується тільки уздовж напрямку пануючого вітру. Процес

розглянутий як стаціонарний. Проте не можна виключати і складнішу – другу гіпотезу, суть якої полягає в наступному.

По-перше, слід врахувати, що великі заводи працюють впродовж будь-якої зміни по прямолінійному графіку практично рівномірно, не міняючи режим випуску продукції в часі. Тому витрата домішки, що поступає з труб заводу в атмосферу, можна або усереднити, або прийняти з тим або іншим наближенням не залежним від часу. Тоді похідна $\frac{\partial C}{\partial t}$ в рівнянні конвективної дифузії може бути прирівняна нулю.

По-друге, беруться до уваги тільки найбільш вгледні значення коефіцієнтів дифузії по трьох координатних осях, які усереднені в статистичному сенсі, використовуючи при цьому метод Монте-Карло.

Для відшукування усереднених коефіцієнтів дифузії проведені незалежні статистичні дослідження. У результаті випробувань (випадкових величин) і зроблених вимірів отриманий ряд можливих значень коефіцієнтів дифузії по трьох координатних осях, визначена верхня межа помилки, що виходить, при заданій надійності і встановлені довірчі інтервали.

Математична модель дифузії домішок в повітряному середовищі після прийняття другої гіпотези буде представлена рівнянням дифузії (9) і трьома інтегральними рівняннями (10), які приведені нижче:

$$V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}, \quad (9)$$

де C – концентрація домішок в атмосфері міста; V_x, V_y, V_z - проєкції швидкості вітру на вибрані три координатні осі; D_x, D_y, D_z – коефіцієнти дифузії. Вісь x спрямована по горизонталі і уздовж пануючого вітру в цій місцевості, використовуючи розу вітрів; вісь y – по горизонталі і нормально до осі x ; вісь z – вертикальна координата [6]. Рішення рівняння дифузії зводиться до рішення таких інтегральних рівнянь :

$$\left. \begin{aligned} \iint_{S_x} \left[C''(x) - \frac{V_x}{D_x} C'(x) + K_x^2 C(x) \right] dx^2 &= 0 \\ \iint_{S_y} \left[C''(y) - \frac{V_y}{D_y} C'(y) + K_y^2 C(y) \right] dy^2 &= 0 \\ \iint_{S_z} \left[C''(z) - \frac{V_z}{D_z} C'(z) + K_z^2 C(z) \right] dz^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де K_x^2, K_y^2, K_z^2 – змінні параметри, які визначаються із спостережень в конкретних умовах.

Рішення інтегральних рівнянь (10) відшукуються за допомогою варіаційних методів, зокрема застосовується математично витончений метод Б.Г. Галеркіна [6]. Цей метод отримав дуже широке застосування в різних областях техніки та наукових дослідженнях.

Також опубліковані фундаментальні теоретичні роботи із застосування методу Галеркіна до точних рішень як лінійних, так і нелінійних рівнянь. Наближене рішення, по Галеркіну, відшукується у вигляді системи задалегідь вибраних функцій, що задовольняють заданим граничним умовам, що є повними у даній області і лінійно незалежними. Рішення знаходиться у вигляді поліномів, що задовольняють вказаним умовам. Складаються умови ортогональності:

$$\int L(\bar{C})\phi_K(\bar{U}^*)dq = 0, \quad (11)$$

де $L(\bar{C})$ – диференціальний оператор, що відповідає початковим інтегральним рівнянням із заданими умовами; $\phi_K(\bar{U}^*)$ – повна система функцій.

Умови ортогональності після обчислення інтегралів, що входять в них, перетворюються на систему алгебри рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів. З рівнянь алгебри визначається функція

$$C^* = \sum A_i \phi_K(\bar{U}^*), \quad (12)$$

де A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – коефіцієнти, що отримуються із вказаних рівнянь.

Моделі з урахуванням інверсій для концентрацій, усереднених за великий період, і проведені порівняння між результатами спостережень і розрахованими по моделі, цілком обнадіюють [1, 2, 4]. Також, для підвищення точності екологічного моніторингу, запропоновану модель процесу дифузії домішок в атмосфері з урахуванням інверсій для оцінки якості повітряного басейну можливо використовувати із застосуванням даних мультиспектральної зйомки [7].

Висновки

В статті проведено аналіз математичних моделей якості повітряного басейну та наведений опис моделі процесу дифузії домішок в атмосфері з ураху-

ванням інверсій для оцінки якості повітряного басейну. Запропонована модель дозволяє провести оцінку якості повітряного басейну з урахуванням висоти забруднюючих джерел викидів та середньої висоти перемішування повітряних мас, що дозволить використовувати її при екологічному моніторингу генеральних планів міст та схем районних планувань.

Напрямами подальшого удосконалення запропонованої моделі для забруднень повітряного басейну є підвищення точності за рахунок використання мультиспектральних даних з систем дистанційного зондування землі.

Список літератури

1. Лаврик В.І. *Моделювання і прогнозування стану довілля* [Текст] / В.І. Лаврик. – К.: Академія, 2010. – 400 с.
2. Зеркалов Д.В. *Екологічна безпека: управління, моніторинг, контроль* [Текст] / Д.В. Зеркалов. – К.: Дакор, Основа, 2007. – 412 с.
3. Тарасова В.В., Метрологія, стандартизація і сертифікація [Текст] / В.В. Тарасова, А.С. Малиновський, М.Ф. Рибак. – К.: ЦНЛ, 2006. – 264 с.
4. Клименко М.О. *Метрологія, стандартизація і сертифікація в екології* [Текст] / М.О. Клименко, П.М. Скрипчук. – К.: Академія, 2006. – 368 с.
5. Шамаєв Ю.П. *Особливості впровадження законодавчо-нормативних документів України та європейського союзу у галузі охорони навколишнього середовища* [Текст] / Ю.П. Шамаєв, О.А. Коростельова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 1 (42). – С.132 – 135.
6. Флетчер К. *Численные методы на основе метода Галеркина*: Пер. с англ. [Текст] / К. Флетчер – М.: Мир, 1988. – 352 с.
7. Подорожняк А.О., *Метод інтелектуальної обробки мультиспектральних зображень* [Текст] / А.О. Подорожняк, О.Д. Лагода, Н.Ю. Любченко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 10 (135). – С. 123 – 125.

Надійшла до редколегії 7.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДИФУЗИИ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ С УЧЕТОМ ИНВЕРСИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА

А.С. Кравцов, А.В. Омельченко, А.А. Подорожняк, Ю.П. Шамаєв

В статье изложены результаты проведенного анализа математических моделей качества воздушного бассейна и приведено описание модели для точечных источников загрязнений с использованием гауссова решения для стационарного точечного источника и представлены результаты математического моделирования процесса диффузии примесей в воздушном бассейне с учетом инверсий. Предложенная модель позволяет провести оценку качества воздушного бассейна с учетом высоты загрязняющих источников выбросов и средней высоты перемешивания воздушных масс в атмосфере, что позволит использовать ее при экологическом мониторинге генеральных планов городов и схем районного планирования.

Ключевые слова: модель, точечный источник загрязнения, диффузия примесей, оценка качества, экологический мониторинг.

MODEL OF DIFFUSION OF IMPURITIES IN THE ATMOSPHERE WITH INVERSIONS TO EVALUATE THE QUALITY OF AIR POOL

O.S. Kravtsov, A.V. Omelchenko, A.O. Podorozhniak, Yu.P. Shamaiev

The article presents the results of the analysis of mathematical models as air quality and description given model for point sources of pollution using Gaussian solutions for stationary point sources and presents the results of mathematical modeling of diffusion impurities in the air basin based inversions. The proposed model allows us to assess the quality of air quality on the basis of height pollutant emission sources and the average height of the mixing of air masses in the atmosphere, allowing its use in the environmental monitoring of master plans of cities and regional planning schemes.

Keywords: model, point source pollution, diffusion of impurities, quality assessment, environmental monitoring.

УДК 504.064.36; 004.8.032.26

О.С. Масич

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ

Обґрунтовано актуальність проблеми розпізнавання внутрішньої структури даних екологічного моніторингу і побудови математичної моделі техногенного навантаження регіону. Запропоновано методику побудови багатовимірної регресії для кожного кластера в форматі безлічі вагових коефіцієнтів навченої нейронної мережі. Знайдений ансамбль моделей з прийнятною для практики продуктивністю при обґрунтованій надійності і точності отриманих результатів. Показана реалізація запропонованих алгоритмів в середовищі стандартного пакета технічного аналізу, що дозволяє уникнути додаткових матеріальних і тимчасових витрат при створенні систем підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: екологічний моніторинг, штучна нейронна мережа, багатовимірна регресія, розпізнавання, навчання.

Вступ

Екологічний моніторинг є комплексним моніторингом біосфери. Він включає в себе контроль за зміною стану навколишнього середовища під впливом як природних, так і антропогенних чинників [1].

Постановка проблеми. Для ефективного аналізу впливу техногенного навантаження на навколишнє середовище в регіоні необхідно знати внутрішню структуру екологічних факторів, їх вплив на показники якості і динаміку їх змін. Для цього доцільно знайти аналітичну залежність вхідних екологічних факторів з індикаторами екології в регіоні. Прийняття рішень щодо корекції екології залежить від значення детермінують сили кожного фактору окремо і його вкладу при спільному багатofакторному впливі всього масиву факторів на цільову функцію.

Якщо побудувати інформаційно-аналітичну модель аналізу даних екологічного моніторингу з оцінкою цих показників, то за інших рівних умов, отримані знання можуть істотно вплинути на домінуючі індикатори техногенного навантаження в регіоні [2 – 4].

Техногенний вплив на середовище і можна характеризувати рядом показників екологічного моніторингу, а індикатором цього впливу розглядати, наприклад, статистику захворювань серед жителів цього регіону. На прикладі [4] представлений масив даних, який можна розглядати як вибірку прикладів для навчання моделі.

Аналіз наявних даних дозволяє зробити висновок про різноманіття і різну природу факторів, що говорить про високий ступінь невизначеності в зв'язку індикаторів екології та статистикою захворювань в регіоні. Тому побудова подібних аналітичних моделей є актуальним завданням з практичної точки зору.

Основний матеріал дослідження та отримані наукові результати

Публікації в цій галузі досліджень дозволяють стверджувати, що ряд питань не дозволені і потрібно шукати механізми оцінки і прогнозу стану і динаміки навколишнього середовища. Перспективним відзначають напрямком досліджень на основі інтелектуальних технологій вилучення знань з масиву даних за результатами моніторингу екологічного навантаження [5]. Основу цього напрямку складає застосування інтелектуальних технологій, побудованих на принципах навчання і реалізованих в форматі пакетів технічного аналізу [4,5,6,7]. Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок про доцільність постановки та вирішення задачі моделювання процесу оцінки і управління станом екології в регіоні з метою мінімізації техногенного навантаження. Якщо знайти адекватну математичну модель, яка б пов'язала дані екологічного моніторингу ґрунту, води, повітря з індикаторами стану здоров'я жителів регіону, то можна побудувати оптимальну систему прийняття рішень. Це особливо важливо при обмежених ресурсах і необхідності їх продуктивного точкового використання з максимальною ефективністю. Однак в умовах великої розмірності вектора вхідних даних (екологічні показники) і складності взаємозв'язків з індикаторами техногенного навантаження (статистика захворюваності) побудувати багатовимірну регресію для всього масиву даних з хорошою продуктивністю, як правило, не вдається [4, 6, 9]. Тому логічно припустити, що знаходженню багатofакторної залежності, як вирішення завдання багатовимірної регресії, повинна передувати процедура структурування вихідних даних з метою формування однорідних підмножин. Тоді значно легше домогтися заданих меж продуктивності при побудові моделі регресійного аналізу для кожної з отрима-

них підмножин. Вирішенню цього завдання присвячена ця стаття.

Для побудови програмної моделі аналізу структури вхідних даних використовується середовище стандартного пакету технічного аналізу Statsoft (версія Statistika 6.1) і забезпечується адаптація емуляторів базових функцій до задачі регресійного аналізу техногенного навантаження регіону в рамках встановлених обмежень.

Необхідно побудувати математичну модель внутрішньої структури факторів техногенного навантаження на основі вихідних даних екологічного моніторингу, яка по заданому вхідному вектору спостережень видавала б відгук із заданою точністю:

$$F: X \rightarrow Y_{\text{opt}}, X \in \mathfrak{R}^m, Y_{\text{opt}} \in \mathfrak{R}, \quad (1)$$

де X - множина вибірок ознак опису екологічного стану;

Y_{opt} - верифіковане вихідне значення функції регресії.

У нейромережевому форматі ця задача може бути представлена у такому вигляді:

$$y^k(x^m) = \sum_{j=1}^n v_j (w_{j1}x_1 + w_{j2}x_2 + \dots + w_{jm}x_m + u_j), \quad (2)$$

де y^k - вектор станів;

k -номер індикатора станів (дихання, кров, % звернень до лікаря і т.д.);

(x^m) - вектор факторів;

m - розмірність вхідного вектору даних - (NO, SO₂, CO і т.д.);

n - потужність навчальної вибірки;

v_j - параметри нейромережі;

$w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm}$ - вагові (синаптичні) коефіцієнти нейромережевої моделі.

Залежність (2) буде представляти собою безперервну функцію [9].

Збудуємо мережу для багатовимірної регресії, отримаємо фізичну модель техногенного навантаження як реалізацію функції (1). Якщо продуктивність мережі і помилки на навчальній, контрольній і тестовій множині в допустимих межах, то модель стає інструментом підтримки прийняття рішень в оцінці техногенного навантаження регіону. Прогноз динаміки захворювань і вибір оптимальних керуючих факторів для досягнення цільового стану мають детермінований зв'язок через масив синаптичних ваг навченої нейронної мережі.

Знаходження однорідних підмножин у вхідному масиві даних розглянемо як завдання кластерного аналізу. Є кінцевий масив навчальних вибірок $X^n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in X$. Відомий вид функції відстані між об'єктами $\rho(x, x^*)$ (евклідова відстань). Необхідно розділити масив даних на непересічні підмножини, так, щоб кожна складалася з об'єктів, близь-

ких за метрикою $\rho(x, x^*)$, а об'єкти різних підмножин істотно відрізнялися між собою.

Вирішивши завдання кластерного аналізу і домігшись однорідності даних вибірок в кожній підмножині, залежність «вхід-вихід», буде являти собою безперервну функцію [7].

Необхідно побудувати для кожного з кластерів окрему нейронну мережу для багатовимірної регресії, отримати фізичну модель техногенного навантаження як реалізацію функції (1).

Якщо продуктивність мережі і помилки на навчальній, контрольній і тестовій множині в допустимих межах, то модель стає інструментом підтримки прийняття рішень в оцінці техногенного навантаження регіону.

Прогноз динаміки захворювань і вибір оптимальних керуючих факторів для досягнення цільового стану мають детермінований зв'язок через масив синаптичних ваг навченої нейронної мережі.

Рішення завдання ґрунтується на добуванні знань з масиву прикладів шляхом навчання нейромережевої моделі аналізу даних. В якості програмного інструментарію використовуємо пакет технічного аналізу Statistika Neural Network.

З огляду на те, що число розглянутих факторів аналізу техногенного навантаження досягає декількох десятків [4], ці фактори, як правило, впливають один на одного, частина з них зашумлена або відсутня, рішення доводиться приймати в умовах високої апріорної невизначеності.

У цих умовах найбільш ефективні методи і алгоритми нейромережевого розпізнавання образів [5, 6, 8].

Усередині кластерів дані однорідні, а, значить, поведінка фізичного процесу (техногенного навантаження) в рамках одного кластера більш передбачувана, ніж динаміка цього процесу у всьому просторі спостережень наявних прикладів.

Таким чином, якщо будуть знайдені угруповання в даних моніторингу як значення факторів компактних в багатовимірному просторі на основі деякої метрики близькості, то нові спостереження можна класифікувати за належністю до того чи іншого кластеру.

Якщо на вхід навченої моделі подати вибірку значень факторів заданої розмірності, модель віднесе її до кластеру з мінімальним значенням міри близькості. Це еквівалентно присвоєнню номера класу техногенного стану по досліджуваній вибірці даних.

Маніпуляції розмірністю вектора і інформативністю його елементів з багаторазовим повторенням цієї процедури кластеризації, дозволяють емпіричним шляхом знайти сукупність факторів відповідних потрібного класу екологічного навантаження регіону [5 – 7].

Скористаємося узагальненими показниками екологічного моніторингу на прикладі завдання, складемо вихідну таблицю даних в пакеті технічного аналізу Statistika 6.1.

Проведемо кластеризацію даних в просторі спостережень методом К-середніх.

Мета методу — розділити n спостережень на k кластерів, так щоб кожне спостереження належало до кластера з найближчим до нього середнім значенням. Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера.

Таким чином, можна стверджувати, що всі множини даних добре розділяються на три кластери. Варто відзначити, що дані таблиць добре ілюструють їх стійке угруповання всередині кластерів і надійний поділ спостережень на однорідні групи між кластерами. Алгоритми, що реалізують процедури угруповання даних, забезпечують однорідність даних усередині кластерів і максимальну віддаленість самих кластерів. Отже, умови (1) і (2) при виконанні процедури формування однорідних груп у вихідних даних дотримані.

На наступному етапі реалізуємо процедуру (1) як завдання багатовимірної регресії. Для цього побудуємо алгоритм аналізу даних в режимі «навчання з учителем» [3].

Процедура (2) в постановці завдання виконується ітераційно в процесі навчання мережі за алгоритмом зворотного поширення помилки [7] стосовно до даних формату екологічного навантаження регіону:

$$\frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (x_{ij} - d_{ij})^2 \Rightarrow \min,$$

де u_{ij} - вектор індикаторів вихідних станів;

d_{ij} - результат навчання мережі на j - виході, при i - му прикладі навчальної вибірки.

$j=1, n$ - номер виходу мережі;

$i=1, m$ - номер прикладу;

n, m - розмірність масиву прикладів і числа вихідних елементів мережі.

Після виконання навчання отримаємо ансамбль нейромережевих моделей (рис. 1 – 3).

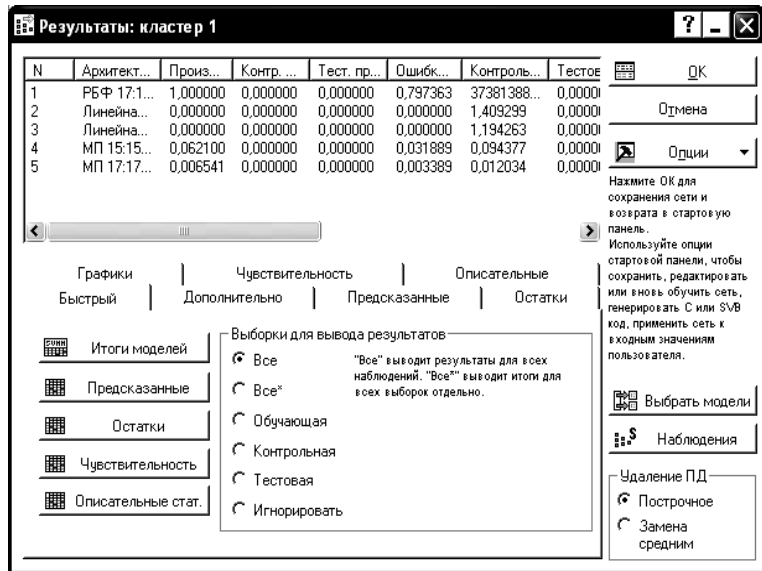


Рис. 1. Результаты для 1-го кластеру

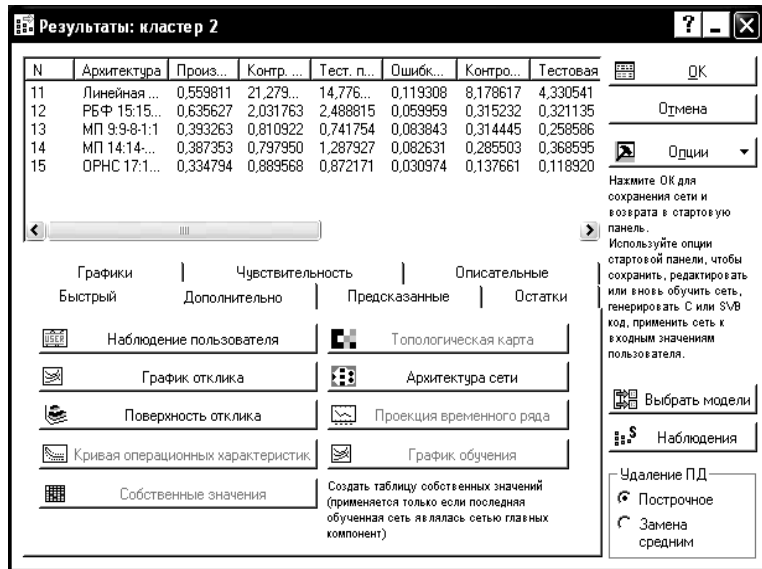


Рис. 2. Результаты для 2-го кластеру

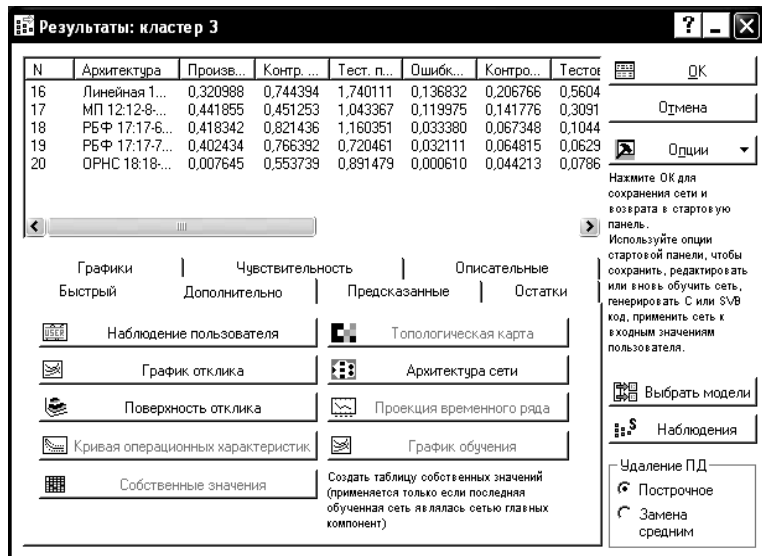


Рис. 3. Результаты для 3-го кластеру

Аналіз профілів результатів моделювання дозволяє виділити мережі з прийнятними для практики продуктивністю і помилками на навчальних, контрольних та тестових множинах. Це свідчить про адекватність математичної моделі фізичному змісту досліджуваного процесу, який формалізований виразом (2) в постановці завдання.

Знайдена регресійна залежність встановлює зв'язок входних факторів і вихідних індикаторів системи через масиви синаптичних коефіцієнтів п'яти навчених нейромережевих моделей для кожного з кластерів.

Мережа успішно навчилася і придатна для використання в оцінці та прогнозуванні значень залежної змінної. Таким чином, математична модель екологічного моніторингу регіону побудована. Постановлена задача вирішена.

Висновки

Отже, моделі інтелектуального вилучення знань з бази регіональних даних екологічного навантаження на навколишнє середовище в регіоні були успішно побудовані. Була проведена кластеризація даних методом К-середніх, що якнайкраще підходить для наведеного типу даних. Результати кластеризації також дають можливість в майбутньому, при надходженні нових спостережень, на основі деякої метрики близькості класифікувати їх за належністю до того чи іншого кластеру.

Після отримання трьох кластерів було проведено навчання нейронної мережі за допомогою регресії через майстер рішень. В результаті навчання були отримані архітектури, продуктивності яких не перевищували 0,3, або були близькі до даного числа, що при багатовимірному регресійному аналізі вірно.

В кінцевому результаті була побудована математична модель техногенного навантаження регіону. Аналіз екологічного навантаження регіону як рі-

шення задачі розпізнавання реалізується в пакеті технічного аналізу StatSoft успішно. Новизна підходу полягає в розробці методики вилучення знань для прийняття рішень з масиву даних екологічного моніторингу регіону шляхом використання стандартного нейромулятор Statistika Neural Network.

Список літератури

1. Хотунцев Ю.Л. Экология и экологическая безопасность. Учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений / Ю.Л. Хотунцев. – М.: Academia, 2004. – 480 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. 2 – изд. – М.: Наука, 1978. – 400с.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. Пер. с англ. - М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. Морозов А.А. Состояние и перспективы нейросетевого моделирования СППР в сложных социотехнических системах / В.П. Клименко, А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин // Математичні машини і системи. – 2010. - № 1.- С. 127 – 149.
5. Ляхов А.Л. Интеллектуальный анализ данных в прикладных экономических задачах / А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин // Научный вестник Полтавского национального технического университета. Экономика і регіон – 2009. - № 4(23). – С. 140 – 147.
6. Барабаи Ю. Л. Коллективные статистические решения при распознавании.- М.: Радио и связь , 1983.- 224с.
7. Боровиков В.П. STATISTICA NN - Техническое описание. М.: Мир, 1999. – 239 с.
8. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения / Колмогоров А.Н. // Доклады АН СССР. – 1957. – Т. 114. – С. 953 – 956.
9. Ляхов А.Л. Сложная социотехническая система как объект управления искусственной нейронной сетью / А.Л. Ляхов, С.П. Алёшин // Вісник інженерної академії України. – 2010. – № 1. – С. 93 – 97.

Надійшла до редколегії 14.10.2015

Рецензент: канд. техн. наук, доц. С.П. Альошин, Полтавський технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ

А.С. Масыч

Обосновано актуальность проблемы распознавания внутренней структуры данных экологического мониторинга и построения математической модели техногенной нагрузки региона. Предложена методика построения многомерной регрессии для каждого кластера в формате множества весовых коэффициентов обученной нейронной сети. Найденный ансамбль моделей с приемлемой для практики производительностью при обоснованной надежности и точности полученных результатов. Показана реализация предложенных алгоритмов в среде стандартного пакета технического анализа, что позволяет избежать дополнительных материальных и временных затрат при создании систем поддержки принятия решений.

Ключевые слова: экологический мониторинг, искусственная нейронная сеть, многомерная регрессия, распознавание, обучение.

NEURAL NETWORK MODEL OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF AREA

O.S. Masych

There was justified by the relevance of the problem of recognition of internal data structures for environmental monitoring and constructing a mathematical model of anthropogenic impact in the region. Constructing multivariate regression technique has been proposed for each cluster in the format of the plurality of weights trained neural network. Found ensemble models with an acceptable practice performance with reasonable accuracy and reliability of the results. Shown the implementation of the proposed algorithms in the environment of the standard technical analysis package, which avoids additional material and time costs at creation of decision support systems.

Keywords: environmental monitoring, artificial neural networks, multivariate regression, pattern recognition, learning.

УДК 621.039.7

І.О. Полякова

Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, Київ

ОЦІНКА ДОЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПЕРСОНАЛ, ЯКИЙ ПРАЦЮЄ З ТРИТІЄВИМИ РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

Показано динаміку зменшення дозових навантажень на персонал, що працює з радіоактивними відходами (в тому числі тритієвими) на АЕС та спеціалізованих підприємствах по поводженню з радіоактивними відходами України.

Ключові слова: тритій, дозове навантаження, тритієві нормативи, персонал, радіонуклідний склад.

Вступ

Постановка проблеми. В Україні накопичено близько 2,724 млн. м³ твердих (ТРВ) та 42 тис. м³ рідких радіоактивних відходів (РРВ), причому 38,5 тис м³, або 92% рідких РАВ зберігається безпосередньо в межах промислових майданчиків АЕС [1], в тому числі і відходи, що містять тритій (Т), поводження з якими потребує особливих заходів безпеки для персоналу та оточуючого природного середовища.

Найбільші обсяги тритію генерують АЕС; за даними [1], щорічне генерування Т у 441 ядерному реакторі світу з сумарною потужністю 370949 МВт перевищило 757×10^{15} Бк. Значна кількість РРВ, знаходиться на тимчасовому зберіганні у спеціальних ємностях, а ТРВ - у приповерхневих сховищах на території пунктів зберігання радіоактивних відходів (ПЗРВ) спеціалізованих підприємств ДК «УкрДО «Радон».

Річні дозові навантаження на персонал, що знаходиться в зоні впливу іонізуючого випромінювання, визначається як сума доз зовнішнього та внутрішнього опромінення [2]. Враховуючи специфіку фізико-хімічних властивостей і характеристик тритію, визначення його інкорпорованого вмісту в організмі персоналу є надзвичайно важким завданням.

Формулювання мети статті. Метою статті є визначення розрахункового дозового навантаження на персонал, що працює з тритієвими відходами. Показана можливість зменшення річної дози персоналу за рахунок зовнішнього опромінення, застосовуючи спеціальні інженерні бар'єри та технічні засоби й відокремлюючи тритій від інших радіонуклідів при зберіганні.

Виклад основного матеріалу

У радіоактивних відходах (РАВ) Т здебільшого знаходиться як компонент суміші інших радіонуклідів.

Радіонуклідний склад РРВ АЕС наступний: ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, Т тощо.

На ПЗРВ спеціалізованих підприємств ДК «УкрДО «Радон», радіонуклідний склад ТРВ і РРВ визначено: ¹⁴C, Т, ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr+⁹⁰Y, ⁶⁰Co, ²³²Th. Приклад радіонуклідного складу РРВ вказано на рис. 1.

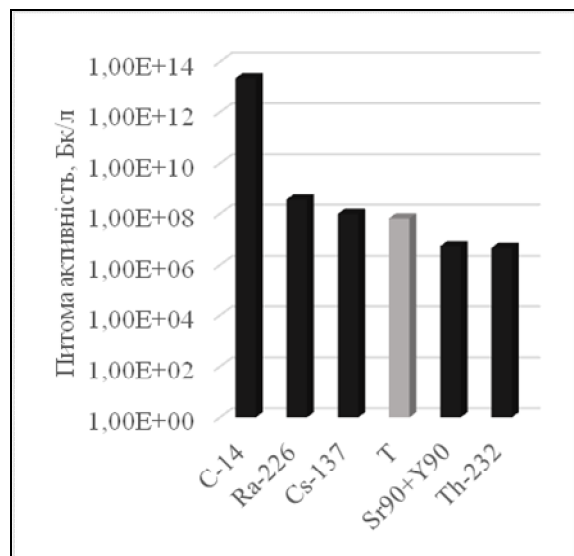


Рис. 1. Радіонуклідний склад та питома активність РРВ сховища №13 Київського спец підприємства ДК «УкрДО «Радон»

Отже, персонал, що працює на ПЗРВ спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон» та місцях тимчасового зберігання РАВ АЕС отримує дозове навантаження від α -, β -, γ -випромінюючих радіонуклідів, як ззовні так і внутрішньо.

Складність розрахунку дозових навантажень персоналу полягає в «багатому» радіонуклідному складі відходів, багатофакторності шляхів формування дози, невизначеності радіобіологічних властивостей тритію (невизначеність безпечних концентрацій тритію у воді, повітрі), похибок під час проведення вимірювань, недосконалість саме методик проведення вимірювань тощо. Це стало наслідком того, що у різних країнах світу було встановлено тритієві нормативи, що різняться в десятки, а то й сотні разів.

Тритієві нормативи, встановлені у різних країнах світу зведені у табл. 1 [3-7]. Також, надано інформацію щодо рекомендації Всесвітньої організа-

ції охорони здоров'я (ВООЗ) щодо тритієвого нормативу із зазначенням канцерогенного ризику на 1 мільйон населення.

Таблиця 1

Тритієві нормативи, встановлені у різних країнах світу

Країна	Норматив, Бк·дм ⁻³	Канцерогенний ризик, випадків на 1 млн. населення	
		Летальний	Захворювання
Канада	7 000	338	490
США	740	36	52
Країни ЄС	100	5	7
Норвегія	100	5	7
Фінляндія	30 000	1447	2100
Австралія	76 103	3671	5328
Росія	7 700	371	539
Швейцарія	10 000	482	700
ВООЗ (рекоменд.)	10 000	482	700
Україна	30 000	1447	2100

Для персоналу категорії А спеціалізованих підприємств ДК «УкрДО «Радон» еквівалентна доза коливається в межах від 1,5 до 12 мЗв/рік [8]. При цьому ВООЗ рекомендовано використовувати рівень референтної дози (RDL – reference dose level) 0,2 мЗв/рік [9].

Доведено, що ризик летальних і тяжких нелетальних випадків захворювань від дози 0,1 мЗв/рік становить 10^{-5} – 10^{-4} на рік або близько 6×10^{-4} протягом життя (70 років) [10]. Директивою 96/29 EURATOM [11] встановлено дозові коефіцієнти, рекомен-

довані для розрахунку нормативів, які для тритію наведено у табл. 2. Величина нормативу визначається з рівня референтної дози (у чисельнику рівняння), об'єму повітря, що вдихається людиною та дозового коефіцієнта відповідно до рекомендацій [11], наведеного (у знаменнику).

Для працюючих у зоні впливу джерел іонізуючого випромінювання та радіоактивних відходів протягом 2000 годин на рік (персоналу категорії А і Б, RDL для яких встановлено 20 і 2 м³·рік⁻¹ відповідно [3]) розрахункові нормативи становлять:

$$ДК_A^{inhal} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ Зв} \cdot \text{рік}^{-1}}{2000 \text{ год} \cdot \text{рік}^{-1} \times 1,875 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \times 1,8 \times 10^{-11} \text{ Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}} = 29629 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$ДК_B^{inhal} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ Зв} \cdot \text{рік}^{-1}}{2000 \text{ год} \cdot \text{рік}^{-1} \times 1,875 \text{ м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \times 1,8 \times 10^{-11} \text{ Зв} \cdot \text{Бк}^{-1}} = 2963 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}.$$

Таблиця 2

Дозові коефіцієнти, рекомендовані розрахунку тритієвих нормативів [11]

Шлях надходження в організм	Форма тритію	Дозовий коефіцієнт Зв·Бк ⁻¹	
		Дорослі	Діти (до 1 року)
Інгаляція	Тритієва вода (з повітря)	$1,8 \times 10^{-11}$	$6,4 \times 10^{-11}$
	Газоподібний тритій НТ	$1,8 \times 10^{-15}$	$6,4 \times 10^{-15}$
	Тритієвий метан СН ₃ Т	$1,8 \times 10^{-13}$	$6,4 \times 10^{-13}$
	Органічно зв'язаний тритій	$4,1 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$
Пероральне споживання	Тритієва вода	$1,8 \times 10^{-11}$	$6,4 \times 10^{-11}$
	Органічно зв'язаний тритій	$4,2 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$

Під час проведення вимірювань Центральною службою радіаційної безпеки ДК «УкрДО «Радон» концентрації тритію в повітрі виробничих примі-

щень Київського спецпідприємства ДК «УкрДО «Радон» значення концентрації тритію становила до 68429,5 Бк/м³, середнє значення концентрації

30513,3 Бк/м³ [12], що більше ніж в 1,03 рази перевищує розрахункові норми, дозові ліміти для персоналу категорії А, встановлені контрольні рівні на підприємстві.

Враховуючи зовнішнє та внутрішнє опромінення від інших радіонуклідів, що знаходиться в суміші та дози від інкорпорованого тритію отримаємо наступні результати річної дози:

$D = D_1 + D_2 = 5 \text{ м}^3/\text{рік} + 20 \times 1,03 \text{ м}^3/\text{рік} = 25,6 \text{ м}^3/\text{рік}$,
 D_1 – доза від зовнішніх чинників, заявлена у [7];

D_2 – інгаляційне надходження, визначене розрахунковим шляхом (інкорпороване).

Якщо виключити дозу від зовнішніх чинників D_1 (цього можна досягти, відокремивши тритій від інших радіонуклідів для зберігання), при опроміненні виключно тритієм, що надійшов інгаляційним шляхом, дозове навантаження на персонал зменшиться на 19,5%.

Висновки

Невизначеність безпечних концентрацій тритію у воді та повітрі, що базувалась на недостатньо вивчених його радіобіологічних властивостях, призвела до того що для України чинний норматив у 4 рази перевищує розрахований відповідно до рекомендацій ВООЗ і EURATOM і у 300 разів за рекомендований ЄС (у воді) та в 3 рази жорсткіший для повітря. Існує нагальна необхідність залучення до технологічних процесів поводження та використання радіоактивних матеріалів, що містять тритій, нових розробок (технічних засобів), новітніх досліджень у медицині, фізиці, хімії.

Тритієві РАВ – особливий вид відходів, для них необхідно передбачати інші типи безпечних сховищ (окремі місця тимчасового зберігання), спеціальні технології поводження (обробку, кондиціонування, тимчасове зберігання), контейнеризацію у спеціальні ємності тощо для виключення складової з річної дози від зовнішніх чинників. Для персоналу категорії А – специфічні засоби індивідуального захисту, прилади радіаційного контролю та іншу систему дозиметричного контролю з урахуванням

токсичності Т і його радіобіологічного впливу. Це надасть можливість знизити дозове навантаження на персонал на 19,5%.

Список літератури

1. Долін В.В. у співавторстві Тритій у біосфері. - К. Наукова думка, 2012.-224 с.
2. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки (ОСПУ-2005). Державні гігієнічні нормативи. -К., 2005. -150 с.
3. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. — К., 1997. — 120 с.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. — М.: Минздрав России, 1999. — 116 с.
5. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption // Official Journal of the European Communities. — 05/12/1998. — P. L. 330/52—L. 330/54.
6. National Interim Primary Drinking Water Regulations (NIPDWR) / Official US publication, 1976.
7. Standards and Guidelines for Tritium in Drinking Water. — Ottawa, Ontario: Canadian Nuclear Safety Commission, 2008. — 84 p.
8. Звіт з переоцінки безпеки сховищ радіоактивних відходів ПЗРВ ДСП «Київський ДМСК», 2015 р., -100 с.
9. Guidelines for Drinking-water Quality: 3rd edition. Volume 1: Recommendations. — Geneva: World Health Organization, 2004. — 540 p.
10. Approach to the Derivation of Drinking Water Guidelines. Health Canada, 1995, Ottawa, Canada: http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/part_i-partie_i/index-eng.php
11. COUNCIL DIRECTIVE 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation // Official Journal of the European Communities. — 1996. — V. 39. — P. L159/1—114.
12. Усіков Ю.І., Старий В.П. «Измерение концентраций трития в воздухе производственных помещений Киевского ГМСК»//Матеріали науково-технічної конференції «Проблеми поводження з радіоактивними відходами в Україні», Київ, -2010, стор. 95-99

Надійшла до редколегії 14.10.2015

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

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ПЕРСОНАЛ, КОТОРЫЙ РАБОТАЕТ С ТРИТИЕВЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

И.А. Полякова

Показано динамику уменьшения дозовых нагрузок на персонал, который работает с радиоактивными отходами (в том числе тритиевыми) на АЭС и специализированных предприятиях по обращению с радиоактивными отходами Украины.

Ключевые слова: тритий, дозовые нагрузки, тритиевые нормативы, персонал, радионуклидный состав.

ASSESSMENT OF DOSE LOADINGS ON PERSONNEL WORKING WITH RADIOACTIVE WASTE OF TRITIUM

I.O. Poliakova

Dynamics of decrease dose loadings on staff working with radioactive waste (including tritium) in nuclear power plants and specialized enterprises for radioactive waste management in Ukraine.

Keywords: tritium dose load, tritium standards, staff radionuclide composition.

УДК 687.17: 519.24

Р.М. Трищ¹, Н.В. Диденко², Е.Н. Черняк¹¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В статье приведены результаты численных экспериментов по моделированию поглощения энергии гамма-излучения с/без использования предложенных радиационно-защитного костюма и радиационно-защитного материала (свинцовое стекло в виде микросфер). Предложенный метод численных экспериментов приводит к снижению человеческих, временных и финансовых ресурсов. При проведении численных экспериментов использовался программный комплекс GEANT4. Полученные результаты позволяют рассчитать эффективность радиационно-защитной одежды.

Ключевые слова: численный эксперимент, радиационно-защитная одежда, гамма-излучение, GEANT.

Введение

Одна из основных задач экономической политики любой страны - обеспечить национальную безопасность и повысить качество жизни людей. Одним из важных показателей качества жизни людей является развитая система безопасности жизнедеятельности, соответствующей международным требованиям и включает в себя систему безопасности труда. Повышение уровня безопасности труда и промышленной безопасности, предотвращения аварий и несчастных случаев на производстве, усиления профилактики производственного травматизма и профессиональной заболеваемости требует дальнейшего адаптации нормативно-правовых актов к европейскому и международному законодательству, а также использование мирового научного опыта и углубление международного сотрудничества в сфере безопасности труда [1].

В настоящее время трудно назвать любую отрасль промышленности, где в том или ином виде не применялись бы радиоактивные вещества. Однако и сейчас при промышленной обработке радиоактивных веществ и их практическом использовании возникает одна из основных трудностей - защита от их вредного воздействия на организм человека. Поэтому большое значение имеет правильное решение вопросов радиационной безопасности и осуществления всего комплекса защитных и профилактических мероприятий, в котором важное место занимают средства индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания и кожных покровов работающих.

Создание новых СИЗ - сложная, трудоемкая задача, решение которой идет в несколько этапов:

- создание и подбор различных материалов, обладающих минимальной сорбцией, легко очищаются от радиоактивных загрязнений, технологически пригодных для создания СИЗ и устойчивых к дей-

вию сильных окислителей и восстановителей.

- непосредственная разработка рациональных конструкций, обеспечивающих в конкретных производственных условиях надежную защиту работающих от попадания радиоактивных загрязнений на кожу и внутрь организма.

- проведение физиолого - гигиенических, лабораторных и эксплуатационных испытаний для оценки конструктивной пригодности и выбора лучших образцов СИЗ.

Много ученых, научных учреждений и организаций изучают и исследуют материалы и конструкции СИЗ с целью безопасного труда людей на радиационно опасных объектах, но возникают новые опасные вызовы (аварии), развиваются новые технологии, связанные с атомной энергией, появляются новые материалы, поэтому возникает необходимость интенсификации работ в области создания новых видов и типов защитной одежды с оптимальными параметрами радиационной безопасности.

Таким образом, для безопасной и комфортной работы в условиях радиационного излучения необходимо разработать новый вид специальной одежды, который позволял бы защищать тело человека.

Анализ литературных источников. В работах [2, 3] приведены результаты экспериментальных исследований количественных показателей качества материалов отечественного производства, применяемые для изготовления СИЗ. Дальнейший анализ их использования в промышленных условиях [4, 5] выявил ряд недостатков, среди которых: неэффективные и ненадежные защитные свойства; большая масса, что создает дополнительную статическую нагрузку, ухудшает теплообменные процессы; способствуют образованию дополнительных рисков травматизма и профзаболеваний при использовании свинца и резины со свинцовым наполнителем; через высокую жесткость происходит ограничение дви-

жений и подвижности пальцев рук; высокое электрическое сопротивление вызывает образования электростатических полей. Работник в такой одежде чувствует себя некомфортно, быстро устает, а главное не чувствует себя надежно защищенным. Это выдвигает задачи, связанные с разработкой новых материалов с определенными свойствами и характеристиками.

Для улучшения эксплуатационных и гигиенических свойств защитных средств, которые соответствуют современным условиям работы и требованиям европейских стандартов, разрабатывают полимерные материалы. Такие материалы многофункциональные, с соответствующими защитными, гигиеническими и физико-механическими показателями, более адаптированы к человеку и окружающей среде, имеют невысокую цену [6, 7]. Характеристики полимерных материалов зависят от большого количества факторов, среди которых определяющими являются сырье, композиция, методы получения и обработки [8, 9].

Практика определения количественных параметров материалов и изделий предусматривает экспериментальные испытания. Во время испытаний в промышленных условиях при существующих проблемах обеспечения измерительными приборами, определение целого ряда показателей происходит на основе трудоемких натуральных экспериментов. Использование устаревших приборов и методов испытаний в условиях воздействия ионизирующего излучения, переменных производственных условий и параметров микроклимата на рабочих местах, может привести к существенным погрешностям при контроле защитных свойств, параметров электромагнитных и тепловых полей и их влияния на работника и оборудование, поэтому основой количественного анализа в работе является эксперимент и математическое моделирование [9].

Целью работы является проведение численного расчета эффективности радиационно-защитной одежды, изготовленной из радиационно-защитного материала на основе свинцового стекла.

Постановка численного эксперимента

Оценка поглощенной дозы ионизирующего излучения органами человека является сложной задачей ввиду того, что человеческое тело состоит из множества неоднородных органов.

Были проведены численные эксперименты по определению эффективности снижения гамма-излучения при прохождении через радиационно-защитную одежду (рис. 1) из предложенного материала [1]. Источник гамма-излучения представляет собой плоскость, равномерно испускающую моноэнергетические фотоны. Расстояние между гамма-

источником и продольной осью фантома составило 0,5 м. Размеры гамма-источника составили 2x0,75 м. Расчеты проводились в диапазоне энергий гамма излучения от 100 кэВ до 1,5МэВ с шагом 50 кэВ для случая с защитным костюмом и без для каждого органа, представленных в табл. 1. Для каждой точки количество гамма-лучей равнялось 10^6 . Во всем диапазоне энергий производился расчет поглощенной энергии каждым из органов и производился расчет эффективности радиационно-защитной одежды.

Таблица 1
Список органов, рассматриваемых при численном моделировании, их объем и вес

№ пп	Наименование	Объем, см ³	Вес, г	№ рис. 4-7
0	Головной мозг	1470	1451	0
1	Голова	4651	4590	1
2	Сердце			2
3	Левый надпочечник	7.8	7.7	3
4	Кость левой руки	819	1217	4
5	Левая молочная железа			5
6	Левая ключица	13.6	20	6
7	Левая почка	144	142	7
8	Левая нога	10388	10252	8
9	Кость левой ноги	1399	2080	9
10	Левое легкое	-	-	10
11	Левый яичник	-	-	11
12	Левая лопатка	101	150	12
13	Левая тестикула	18.7	18.5	13
14	Толстая кишка	344	339	14
15	Мужские гениталии	229	226	15
16	Поясничный отдел позвоночника	753	1120	16
17	Поджелудочная железа	60	60	17
18	Таз	605	900	18
19	Грудная клетка	691	1028	19
20	Правый надпочечник	7.8	7.75	20
21	Кость правой руки	819	1217	21
22	Правая молочная железа	-	-	22
23	Правая ключица	13.6	20.3	23
24	Правая почка	144	142	24
25	Правая нога	10388	10252	25
26	Кость правой ноги	1399	2080	26
27	Правое легкое	-	-	27
28	Правый яичник	-	-	28
29	Правая лопатка	101	150	29
30	Правая тестикула	18.7	18.5	30
31	Череп	843	1253	31
32	Тонкая кишка	1019	1005	32
33	Селезенка	175	173	33
34	Желудок	402	396	34
35	Тимус (вилочковая железа)	25	24.8	35
36	Щитовидная железа	-	-	36
37	Торс	43958	43382	37
38	Верхняя часть толстой кишки	435	429	38
39	Верхний отдел позвоночника	126	187	39
40	Мочевой пузырь	45.9	45.3	40

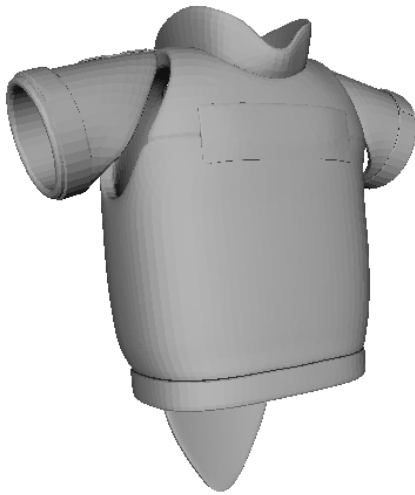


Рис. 1. Эскиз радиационно-защитной одежды

При проведении численных экспериментов в качестве материала радиационно-защитной одежды бралось свинцовое стекло (плотность – 4460 кг/м^3). Его состав дан в табл. 2. Объем защитной одежды при моделировании составил $0,01545 \text{ м}^3$, масса - 68,9 кг.

Результаты расчета эффективности снижения поглощенной энергии органами человека (женщины) при использовании радиационно-защитной одежды, представленной на рис. 1, приведены на рис. 2. Расчеты производились при помощи программного комплекса GEANT.

На графиках зависимостей справа даны нумерация органов человека (женщины), соответствующая табл. 1 (крайний правый столбец). Поглощенная доза рассчитывалась в соответствии с методом, предложенным в [10].

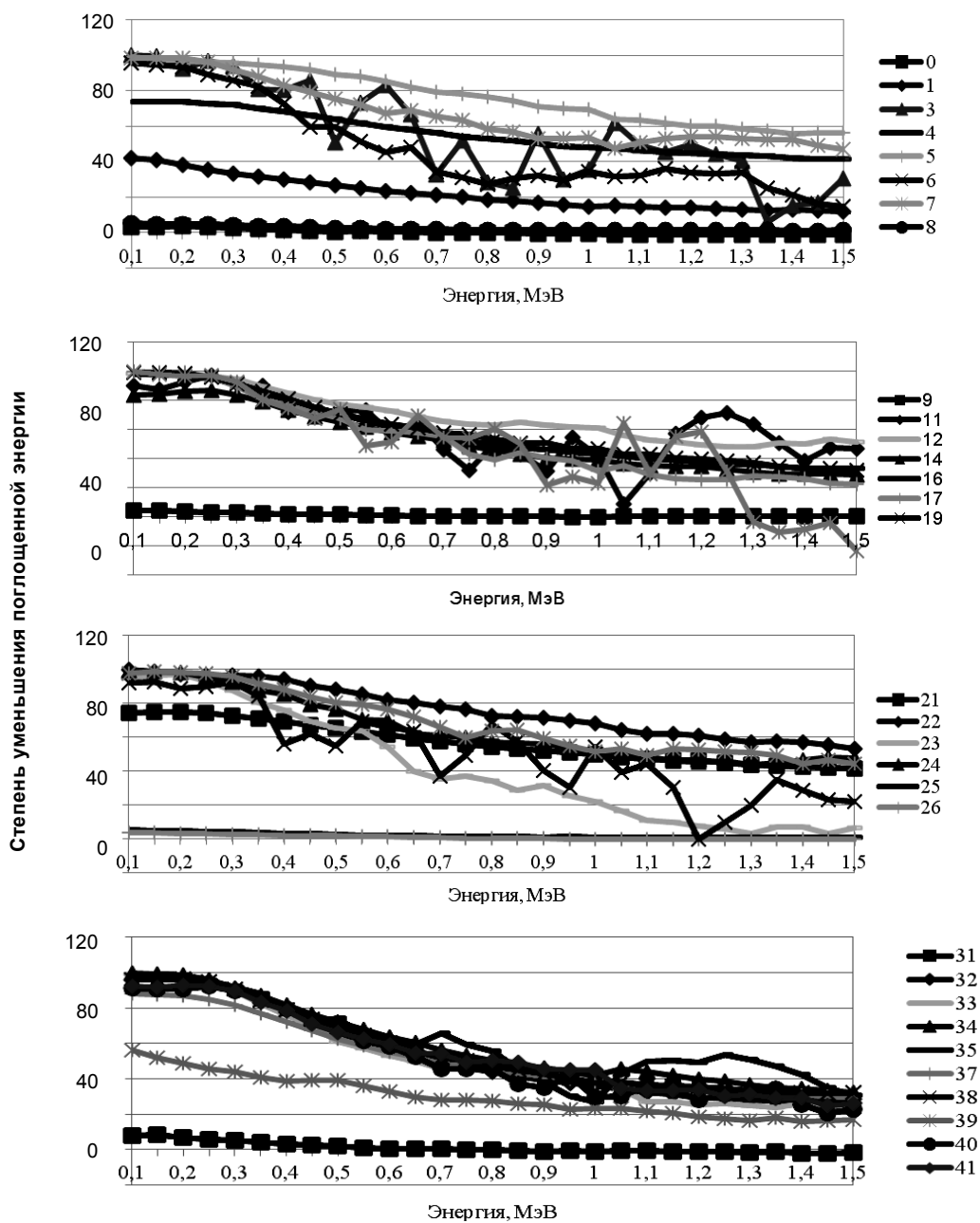


Рис. 2. Степени уменьшения поглощения энергии гамма-излучения органами человека от энергии

Таблиця 2

Состав материала
радиационно-защитной одежды

№ пп	Химический элемент	Содержание, %
1	Кислород	15,65
2	Кремний	8,09
3	Титан	0,81
4	Мышьяк	0,26
5	Свинец	75,19

Вывод

С повышением энергии гамма-квантов эффективность радиационно-защитных свойств прототипированного костюма снижается.

В некоторых случаях (когда моделируемый орган может выходить за пределы радиационно-защитного костюма) поглощенная энергия в случае применения радиационно-защитного костюма может превышать для случаев, при которых костюм отсутствует. Это происходит по следующей причине: с ростом энергии гамма-квантов растет число вторичных электронов (явление фотоэффекта), что приводит к превышению поглощенной энергии органами человека в радиационно-защитной одежде, чем без одежды.

В работе показана возможность применения современных методов исследований радиационных технологий, а именно проведение численных экспериментов для определения эффективности радиационно-защитной одежды, которые существенно снижают как временные, так и финансовые затраты.

Предложенный радиационно-защитный материал показал свою эффективность и может применяться для изготовления защитной одежды для защиты организма человека от ионизирующего излучения.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД РАДІАЦІЙНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

Р.М. Трищ, Н.В. Діденко, О.М. Черняк

У статті наведені результати чисельних експериментів по моделюванню поглинання енергії гамма-випромінювання з / без використання запропонованих радіаційно-захисного костюма і радіаційно-захисного матеріалу (свинцеве скло у вигляді мікросфер). Запропонований метод чисельних експериментів призводить до зниження людських, часових і фінансових ресурсів. При проведенні чисельних експериментів використовувався програмний комплекс GEANT. Отримані результати дозволяють розраховувати ефективність радіаційно-захисного одягу.

Ключові слова: чисельний експеримент, радіаційно-захисний одяг, гамма-випромінювання, GEANT.

INVESTIGATION OF MATERIAL SPECIAL CLOTHING FOR PROTECTION AGAINST RADIATION

R.M. Trishch, N.V. Didenko, E.N. Chernyak

The results of numerical experiments modeling the absorption of gamma-ray energy with / without the use of the proposed radiation-protective suits, and radiation-shielding material (lead glass in the form of microspheres). The proposed method of numerical experiments leads to a reduction of human, time and financial resources. When conducting numerical experiments used software package GEANT. These results allow us to calculate the effectiveness of radiation-protective clothing.

Keywords: numerical simulation, radiation protective clothing, gamma radiation, GEANT.

Список литературы

1. Денисенко Марина Володимирівна. Удосконалення нормативних документів з проектування та застосування засобів індивідуального захисту працівників в гарячих цехах: Дис. канд. наук: 05.01.02/ Марина Володимирівна Денисенко. – Харків: 2015 - 169с.
2. Чубарова З. С. Методы оценки качества специальной одежды. / З. С. Чубарова. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 160 с.
3. Барлоу Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан: пер. с англ. И. А. Ушакова. – М.: Наука, 1984. – 356 с.
4. Голубеев М. И. Анализ современных материалов для спецодежды / М. И. Голубеев, Н. А. Синева [и др.] // Рабочая одежда. – 2003. – № 1. – С. 8–11.
5. Верзилин М. М. Разработка аварийно-радиационного-защитного изолирующего костюма для пожарных: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 05.26.03 "Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)" / М. М. Верзилин. – М., 2009. – 24 с.
6. Каминский С. М. Искусственные материалы для спецодежды и рабочей обуви / С. М. Каминский, К. М. Смирнов. // Охрана труда. – 2001. – № 4. – С. 18–19.
7. Армированные пластики – современные конструкторские материалы / [Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина [и др.] // Рос. Хим. Журнал. – 2002. – т. XLVI. – № 1. – С. 56–74.
8. Патков С. П. Полимерные волокнистые материалы/С. П. Патков. – М.: Химия, 1986.–139 с.
9. Третьякова, Лариса Дмитрівна. Розвиток наукових основ створення захисного одягу для працівників атомних електричних станцій: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.18.19 / Лариса Дмитрівна Третьякова. – Київ : Б.в., 2013. – 347с.
10. Morgunov, V., Trishch, R., Didenko, N. Calculation method of the absorbed (equivalent) dose and absorbed (equivalent) dose rate of the ionizing radiation. Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 18 (1190), 101-106, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.15.

Надійшла до редколегії 28.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. А.С. Гордєєв, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

Зв'язок

УДК 621.385.632.12

Н.М. Довженко, М.Г. Твердохліб, Н.С. Чумак

Державний університет телекомунікацій, Київ

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОТУЖНОЇ ШИРОКОСМУГОВОЇ ЛАМПИ РУХОМОЇ ХВИЛІ

В даній статті розглянуто та проведено аналіз удосконалення перехідного пристрою електродинамічної структури широкосмугової лампи рухомої хвилі, призначеного для високочастотного зв'язку між спіральною сповільнюючою системою електродинамічної структури і хвилеводами, яке дозволяє покращити тепловий режим роботи сповільнюючої системи і підвищити надійність ЛРХ.

Ключові слова: лампа рухомої хвилі, електродинамічна структура, перехідний пристрій, хвилевід, спіральна сповільнююча система, спіраль, діелектричні опори, температурний режим, надійність.

Вступ

Потужні широкосмугові лампи рухомої хвилі (ЛРХ) широко використовуються в системах зв'язку як активні елементи. ЛРХ являє собою прилад, дія якого базується на взаємодії біжучої електромагнітної хвилі, збуджуваної в сповільнюючій системі (СС) електродинамічної структури (ЕДС), і електронного потоку, які рухаються в одному напрямі. ЛРХ застосовують у радіоелектронних та інших пристроях систем зв'язку головним чином для підсилення електромагнітних коливань надвисокої частоти (НВЧ). ЛРХ складається з електронної гармати, електродинамічної структури, фокусувальної системи і колектора. Електронна гармата створює потік електронів, електродинамічна структура забезпечує взаємодію сигналу НВЧ з потоком електронів, фокусувальною системою формує електрони у потік і утримує в пролітному каналі ЕДС, колектор приймає відпрацьовані електрони. Підведення сигналу НВЧ в електродинамічну структуру і виведення з неї забезпечується хвилеводами.

Основна частина

Потужність широкосмугових ЛРХ обмежується тепловою стійкістю сповільнюючої системи ЕДС [1]. Сповільнююча система широкосмугової ЛРХ являє собою повздовжню спіраль, яка кріпиться у вакуумному циліндричному балоні за допомогою керамічних стержнів круглого або трапецієвидного поперечного перерізу. Створення потужних спіральних ЛРХ являє собою складну задачу, пов'язану з перегрівом спіралі СС під час роботи. Спіраль нагрівається, головним чином, за рахунок осідання на неї частини електронів електронного потоку. Підвищення теплової стійкості СС досягається шляхом удосконалення теплових контактів між елементами СС та покращення теплопровідності елементів СС [2]. Для монтажу СС часто використовують метод триангуляції. За цим методом тонкостінний металевий вакуумний балон,

що являє собою пружну циліндричну оболонку, стискають системою з трьох сил, направлених радіально. В проміжках між лініями прикладання сил діаметр оболонки, який в недеформованому стані дещо менший діаметра пакета (спіраль з трьома опорними діелектричними стержнями), збільшується, що дозволяє з зазором ввести пакет в оболонку. Після зняття зовнішніх сил оболонка, намагаючись повернутися до вихідної форми та розмірів, за рахунок пружних сил затискує спіраль між діелектричними стержнями. Для забезпечення необхідної точності на відстань між сусідніми витками спіралі (крок спіралі) монтаж сповільнюючої системи здійснюють, не знімаючи спіраль з циліндричного металевого стержня (керна), на котрий вона щільно намотана. Керн забезпечує точність кроку і також утримує витки спіралі від прогину під дією радіальних сил, утворюваних пружно деформованою оболонкою. Після видалення керна величина пружної деформації перерозподіляється між оболонкою і спіраллю, як показано на рис. 1. При цьому точки витків спіралі, що контактують з керамічними опорними стержнями, переміщуються до осі спіралі на величину деформації спіралі, а точки, що розташовані в проміжках між опорами, віддаляються від осі приблизно на таку ж саму величину.

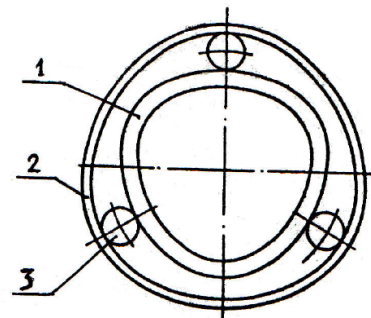


Рис. 1. Перерозподіл пружної деформації між оболонкою і спіраллю після монтажу сповільнюючої системи та видалення керна (видля торця; в СС використані циліндричні опорні стержні)

Теплопровідність контактів між спіраллю 1, опорами 3 і оболонкою 2 залежить від сил стиснення. Ці сили пропорційні величині пружної деформації оболонки та спіралі, які після монтажу СС і видалення керна знаходяться в пружно деформованому стані. Для досягнення максимального стиснення доцільно урівноважувати жорсткість спіралі й балона, яка визначається розмірами та механічними характеристиками матеріалів цих елементів.

Високочастотний зв'язок між спіраллю СС і хвилеводом в ЛРХ здійснюється за допомогою перехідного пристрою. Відома конструкція перехідного пристрою, що містить кільце, яке одним елементом зв'язку (перемичкою) з'єднане з кінцем спіралі, іншим – з оболонкою, причому кільце введене в порожнину хвилеводу [3]. Однак, використання цього пристрою для введення і відведення високочастотної енергії від СС, яка монтується з використанням методу пружної деформації оболонки (тобто триангуляції), може призвести до значного ослаблення зусиль притиснення крайніх витків спіралі (рис. 2), працюючих як розрізні кільця, до керамічних стержнів або навіть відсутності контакту між ними. Це приводить до погіршення відводу тепла на стержні від крайніх витків, їх перегріву або руйнування і, відповідно, виходу з ладу ЛРХ.

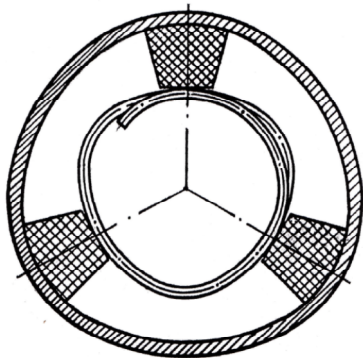


Рис. 2. Форма крайнього витка спіралі у сповільнюючій системі після видалення керна (вид з торця; в СС використані опорні стержні трапецієвидного поперечного перерізу; кільце та перемички перехідного пристрою на рисунку не показані)

При несприятливих взаємних положеннях перемичок перехідного пристрою, які з'єднують кільце з кінцем спіралі та оболонкою, переміщення точок оболонки після видалення керна змушує зміщуватись кінець спіралі в сторону віддалення від опорних стержнів або від одного з них (рис. 3, 4).

Це пояснюється наступним. Після видалення керна (на кресленні не показаний) зі спіралі 2 точки 9, 10 та 11 на оболонці, які знаходяться в зоні розташування стержнів 5, 6, 8, приблизяться під дією зусиль, створюваних пружно деформованою оболонкою 1, до осі спіралі на величину прогину спіралі, а точки 12, 13 і 14, які розташовані посередині проміжків між стержнями, віддаляться від осі спіралі на приблизно таку ж величину. Зміна положення точки

13 змушує завдяки перемичці 7 зміщуватись з осі СС кільця 3. Кільце 3 через перемичку 4, яка з'єднує його з кінцем спіралі 2, буде відтягувати кінець спіралі від стержня 5 і створювати зусилля F , направлене на скручування та зменшення діаметра крайнього витка спіралі, що призводить до появи зазору між крайнім витком та стержнем 5 і послаблює притискання його до наступного по ходу спіралі стержня 6 (рисунку відповідає права навивка спіралі). Отже, тепловідведення від крайнього витка спіралі на керамічні стержні буде значно погіршене.

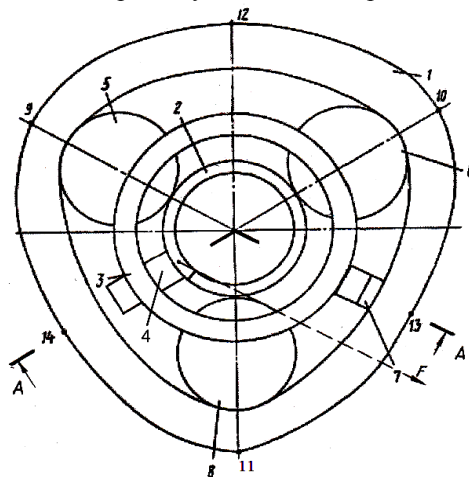


Рис. 3. Вид з торця сповільнюючої системи з перехідним пристроєм відомої конструкції

А - А повернуто

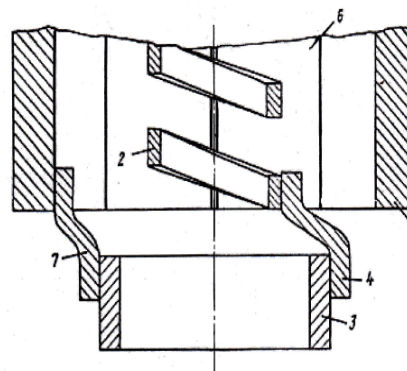


Рис. 4. Поздовжні розрізи А - А сповільнюючих систем з перехідними пристроями відомої та удосконаленої конструкцій (розрізи мають однакові зображення)

Метою даної роботи є підвищення надійності ЛРХ за рахунок покращення тепловідведення від крайніх витків спіралі, працюючих в найбільш несприятливому температурному режимі, шляхом покращення контакту між ними

Поставлена мета досягається тим, що перемички, що з'єднують кінець спіралі з кільцем і кільце з оболонкою (рис. 4, 5), розташовані таким чином, щоб зусилля, що виникає після видалення керна, діяло на розкручування спіралі і притисало кінець спіралі до найближчої до нього опори. Наприклад, перемичка 4, яка з'єднує з кільцем 3 кінець спіралі, може бути розташо-

вана посередині проміжку між діелектричними стержнями 5 і 6, а перемичка 7, що з'єднує кільце 3 з оболонкою 1, розташована посередині наступного по ходу спіралі проміжку між стержнями 6 і 8. Після видалення керна (на кресленні не показаний) зі спіралі 2 точки 9, 10 та 11 на оболонці, що знаходяться в зоні розташування стержнів 5, 6, 8, приблизяться під дією зусиль, створюваних пружно деформованою оболонкою 1, до осі спіралі на величину прогину спіралі, а точки 12, 13 і 14, що розташовані посередині проміжків між цими стержнями, віддаляться від осі спіралі на приблизно таку ж величину. Зміна положення точки 13 створює зусилля, що намагається змістити з осі сповільнюючої системи кільце 3, але цьому через перемичку 4 перешкоджає кінець спіралі, котрий спирається на стержень 6, розташований між перемичками 7 і 4. В результаті, виникає зусилля F , яке частково деформує кінець крайнього витка спіралі і притискає його до стержнів 6 і 8.

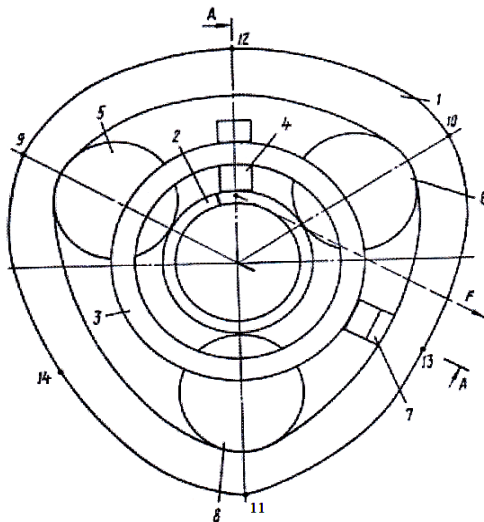


Рис. 5. Вигляд торця сповільнюючої системи з перехідним пристроєм удосконаленої конструкції та діелектричними опорами [4].

Удосконалена конструкція перехідного пристрою електродинамічної структури ЛРХ з пружно деформованою спіральною сповільнюючою системою, в якій використані механічні теплові контакти,

дозволяє створити такі зусилля притиснення крайніх витків спіралі до діелектричних стержнів, які за величиною дорівнюють або перевищують зусилля притиснення до стержнів кожного з витків, що розташовані в середній частині спіралі [5]. Це забезпечує надійне тепловідведення від крайніх витків, адже теплопровідність механічного контакту між витком спіралі та опорним стержнем зростає зі збільшенням зусилля притиснення їх один до одного.

Висновки

Однією з найбільш поширених причин виходу з ладу ЛРХ, як уже відмічалось, було руйнування (розплавлення) від перегріву крайніх витків спіралі. Підвищення теплової стійкості крайніх витків виключає вказану причину відмови ЛРХ, яка спостерігалась як в процесі експлуатації, так і при випробуваннях ЛРХ. Це, відповідно, підвищує надійність і довголіття ламп рухомої хвилі та зменшує технологічні втрати при їх виготовленні.

Список літератури

1. Анализ конструкции замедляющей системы, закрепляемой упругими силами. Ч.1. Разработка методики расчета механических напряжений и перемещений в замедляющей системе / [Барковский В.В. и др.] // СВЧ – техника. Серия 1. – 1992. – Вып. 1 (445). – С. 25-29.
2. Предмировский В.С., Твердохлеб Н.Г. Метод изготовления высокоточных диэлектрических опор замедляющих систем ЛБВ / В.С. Предмировский, Н.Г. Твердохлеб // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2005. – Т. 3, № 3-4. – С. 161-164.
3. Руденко В.Г. Авторское свидетельство СССР № 576862, кл. H01J 23/32, 1972.
4. Руденко В.Г., Твердохлеб Н.Г. Авторское свидетельство СССР № 743475, кл. H01J 23/32, 1980.
5. Анализ конструкции замедляющей системы, закрепляемой упругими силами. Ч.3. Экспериментальное исследование механических элементов замедляющей системы / [Барковский В.В., Предмировский В.С. и др.] // СВЧ – техника. Серия 1. – 1992. – Вып. 3 (447). – С.28-32.

Надійшла до редколегії 16.10.2015

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

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МОЩНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Н.М. Довженко, Н.Г. Твердохлеб, Н.С. Чумак

В данной статье рассмотрен и проведен анализ усовершенствования переходного устройства электродинамической структуры широкополосной лампы бегущей волны, предназначенного для высокочастотной связи между спиральной замедляющей системой электродинамической структуры и волноводами, которое позволяет улучшить тепловой режим работы замедляющей системы и повысить надежность ЛБВ.

Ключевые слова: лампа бегущей волны, электродинамическая структура, переходное устройство, волновод, спиральная замедляющая система, спираль, диэлектрические опоры, температурный режим

IMPROVING THE RELIABILITY OF POWERFUL BROADBAND TRAVELING WAVE TUB

N.M. Dovzhenko, M.G. Tverdohlib, N.S. Chymak

This article is about analysis and improvement of structures adapter broadband electrodynamic waves moving lights, designed for high-frequency connection between spiral slowing electrodynamic system structure and waveguides, which improves the thermal conditions of slowing down the system and improve the reliability LRH.

Keywords: lamp moving waves electrodynamic structure, transition device waveguide system slowing spiral, spiral, dielectric resistance, temperature, reliability.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ З ЦИФРОВИМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦІЇ

В роботі запропонована методика оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції, яка не використовує еталонні сигнали. Методика дозволяє значно підвищити швидкість визначення ймовірності помилкового приймання сигналу у порівнянні з класичними методами.

Ключові слова: засіб радіозв'язку, ймовірність помилкового приймання, відношення сигнал-шум.

Вступ

Сучасні системи і засоби радіозв'язку функціонують в складній радіоелектронній обстановці. Основними факторами, що впливають на якість радіозв'язку, є природні і навмисні завади, що діють в каналі та завмирання сигналів внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль [1 – 3]. При цьому одним з основних завдань при проектуванні систем і засобів радіозв'язку є вибір придатного алгоритму оцінювання параметрів сигналів на вході приймача [4, 5].

Аналіз останніх публікацій. Аналіз відомих методів обробки сигналів показав [5 – 7], що на даний час ефективні алгоритми оцінки таких важливих параметрів радіосигналів, як відношення сигнал-шум (ВСШ) і ймовірність помилкового приймання (ЙПП), вимагають або наявності деяких еталонних сигналів, або є вузькоспеціалізованими для конкретних видів модуляції.

Тому актуальною є розробка ефективних алгоритмів оцінки ВСШ і ймовірності помилкового приймання для цифрових видів модуляції в режимі близькому до реального часу, що дозволить швидко адаптувати засоби радіозв'язку до поточних характеристик каналу зв'язку.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка методики оцінювання параметрів сигналів з цифровими видами модуляції, яка не використовує еталонні сигнали при прийманні.

Виклад основного матеріалу статті

Графічно реалізації прийнятих сигналів $A_i(t)$ і завад $B(t)$ можна зобразити відповідними векторами на площині, які відкладаються від початку координат. Якщо правило рішення обране вірно, то це означає, що кожній точці простору прийнятих коливань (кінцю вектора $Z = A + B$) присвоюється одна з m гіпотез. Простір прийнятих сигналів при цьому розбивається на m непересічних областей Z_i ($i = 1..m$), кожна з яких відповідає прийняттю визначеної гіпотези (сигналу A_i) (рис. 1) [8, 9].

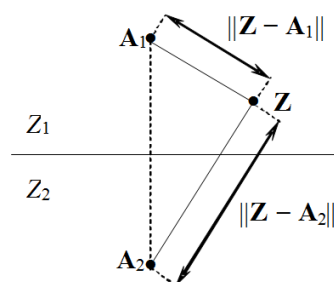


Рис. 1. Розбиття простору прийнятих сигналів

У двійковій системі ($m = 2$) простір Z розбивають на дві непересічні області Z_1 і Z_2 . При наявності завади і передачі сигналу з номером i (для двійкової системи $i = 1, 2$) точка прийнятого коливання Z відхиляється від точки A_i . При оцінці відношення сигнал-шум застосовано поняття вектору помилок $\epsilon(n)$. Це вектор між прийнятим символом $Z(n)$ та символом, відновленим на приймальному боці $A(n)$ (рис. 2). При цьому квадрат модуля вектора помилки визначається як

$$|\epsilon(n)|^2 = (Z_s(n) - A_s(n))^2 + (Z_c(n) - A_c(n))^2, \quad (1)$$

$$n = 1, 2, \dots, N.$$

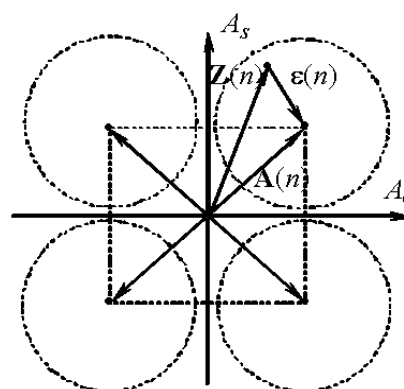


Рис. 2. Вектор помилок

В запропонованій методиці, замість еталонних значень координат точки сигнального ансамблю використовуються координати точок, відновлених на виході демодулятора $A_s(n)$ та $A_c(n)$.

З врахуванням формули (1), вираз для розрахунку середнього значення ВСШ (коефіцієнту помилок модуляції) послідовності із N символів можна записати у вигляді

$$Q^2 = 10 \lg \frac{\sum_{n=1}^N |A(n)|^2}{\sum_{n=1}^N |\varepsilon(n)|^2}. \quad (2)$$

Методика оцінки відношення сигнал-шум та ймовірності помилкового приймання сигналів, схема алгоритму реалізації якої подано на рис. 3, складається з п'яти етапів.

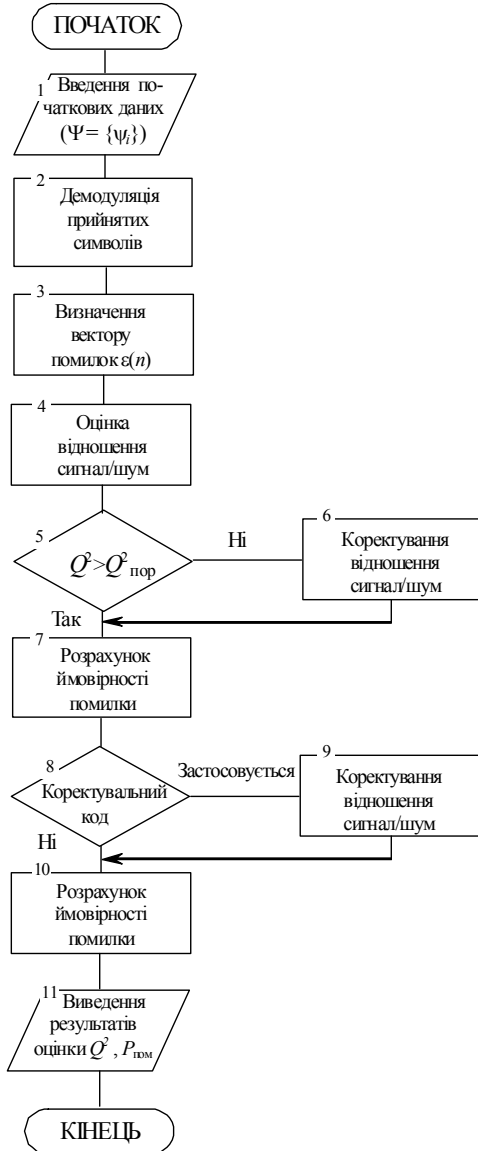


Рис. 3. Схема алгоритму

Введення вихідних даних. Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку $\Psi = \{\psi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, де $\psi_1 \dots \psi_m$ – позиційність ансамблю сигналів M , максимальна потужність корисного сигналу $P_{c \max}$, порогові значення відношення сигнал-шум $Q^2_{\text{пор}}$, швидкість передачі інформації v_i , параметри коригувального коду (швидкість коду R ; кількість помилок, що виправляє код s).

Обмеження: вид модуляції – квадратурна амплітудна модуляція (КАМ); розмірність ансамблю сигналів $4 \leq M \leq 256$; вид коригувального коду – згорткові коди зі швидкістю $R = 0,5-0,9$;

Демодуляція прийнятих символів. В демодуляторі приймача здійснюється обробка прийнятої послідовності спотворених символів.

Вимірювання коефіцієнта помилок модуляції по відновленому після оптимального детектування сузір'я. Оцінка середнього значення коефіцієнта помилок модуляції, яке чисельно дорівнює відношенню сигнал-шум, базується на визначенні вектора помилок між прийнятим символом і переданим символом (символом, відновленим на приймальному боці). Коректування зсуву сигнальних точок сузір'я. Отримане значення відношення сигнал-шум порівнюється з пороговим значенням і при його перевищенні здійснюється коректування ВСШ за задалегідь розрахованим законом.

Розрахунок значення ймовірності помилкового приймання на виході демодулятора. Для N -вимірної КАМ вона розраховується за формулою [10, 11]

$$P_{\text{пом}} = 1 -$$

$$\left[1 - 2 \left[\left(1 - \frac{2}{M^{1/N}} \right) F \left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}} \right) + \frac{1}{M^{1/N}} F \left(\frac{\alpha d}{\sqrt{2G_0}} \right) \right] \right]^N, \quad (3)$$

де d – відстань між сигналами ансамблю КАМ;

$$F(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad \text{– додаткова функція помилок,}$$

$d/\sqrt{2G_0} = \sqrt{2gQ_c^2}$; α – параметр модуляції ($\alpha = 1$ – для класичної КАМ, $\alpha = 2$ або 4 – для ієрархічної КАМ);

$$g = \frac{3 \log_2 M}{N(M^{2/N} - 1 + 3(\alpha - 1)(M^{1/N} + \alpha - 1))};$$

$$Q_c^2 = \frac{E_c}{G_0 \log_2 M} = \frac{E_{\max}}{\Pi^2 G_0 \log_2 M}; \quad E_{\max} \text{ і } E_c \text{ – відповідно}$$

максимальна і середня енергії сигналів КАМ;

$$\Pi^2 = \frac{E_{\max}}{E_c} = \frac{(M^{1/N} + \alpha - 2)^2}{M^{2/N} - 1 + 3(\alpha - 1)(M^{1/N} + \alpha - 1)} \quad \text{– пік-фактор}$$

сигналу КАМ. Після перетворень отримаємо

$$P_{\text{пом}} = \sum_{k=1}^N C_N^k (-1)^{k+1} 2^k \times$$

$$\left[\left(1 - \frac{2}{M^{1/N}} \right) F \left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}} \right) + \frac{1}{M^{1/N}} F \left(\frac{\alpha d}{\sqrt{2G_0}} \right) \right]^k. \quad (4)$$

Для класичної багатовимірної КАМ ($\alpha = 1$) із формули (4) одержимо співвідношення

$$P_{\text{пом}} = \sum_{k=1}^N C_N^k (-1)^{k+1} \left[2 \left(1 - \frac{2}{M^{1/N}} \right) F \left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}} \right) \right]^k. \quad (5)$$

При $N = 2$ (двовимірний КАМ) (5) має вигляд

$$P_{\text{пом}} = 4P_1(1 - P_1), \quad P_1 = \left(1 - \frac{2}{M^{1/N}}\right) F\left(\frac{d}{\sqrt{2G_0}}\right). \quad (6)$$

Для сигналів КАМ ймовірність помилкового приймання залежить від евклідової відстані між сигналами d . Ймовірність помилкового приймання можна визначити за спрощеною формулою [7]:

$$P_{\text{пом}} \approx \frac{4}{k} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) F\left[\sqrt{\left(\frac{3}{M-1}\right) Q^2}\right], \quad (7)$$

де k – кількість біт/символ.

Розрахунок відношення сигнал-шум на виході декодера. Розраховується значення відношення сигнал-шум з врахуванням виправляючої здатності декодера. Розрахунок значення ймовірності помилкового приймання після декодера. При необхідності ймовірність помилкового декодування кодової комбінації розраховується [8, 12]

$$P_{\text{пом кк}} = \sum_{j=S_{\text{випр}}+1}^n C_n^j P_{\text{пом}}^j (1 - P_{\text{пом}})^{n-j}, \quad (8)$$

де $S_{\text{випр}}$ – кількість помилок, що виправляє коригувальний код; n – тривалість кодової комбінації.

Головна перевага запропонованої методики полягає у відсутності необхідності використання еталонної послідовності для визначення ймовірності помилкового приймання сигналів з квадратурною модуляцією, а також у скороченні часу на оцінку, що дозволяє здійснювати обробку сигналів в режимі реального часу. Для проведення оцінки ефективності розробленої методики було розроблено імітаційну модель в середовищі програмування Matlab (Simulink). Результати моделювання показують, що запропонована методика дозволяє скоротити час оцінювання параметрів сигналу в 2,1...2,7 разів в залежності від позиційності ансамблю сигналів

Висновки

Таким чином, запропонована методика оцінки ймовірності помилкового приймання, яка дозволяє значно швидше при порівнянні погрешності в порівнянні із традиційними алгоритмами визначити точне значення ймовірності помилкового приймання в приймачі без необхідності використання еталонних послідовностей.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка методів та методик управління параметрами засобів радіозв'язку на основі отриманих оцінок завадової обстановки в каналі зв'язку.

Список літератури

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В.]. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебн. пос. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
4. Коричнев Л.П., Королев В.Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
5. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
6. Богданович В.А. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов / В.А. Богданович, А.Г. Вострецов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.
7. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011/ – 904 с.
8. Основы теории завадостойкости, кодирования та інформації: Підручник / [Кувшинов О.В., Лівенцев С.П., Лежнюк О.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.]. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 286 с.
9. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л. М. Финк. – М.: Сов. радио, 1970. – 727 с.
10. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Под редакцией А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
11. Теория электричного зв'язку. Ч. 1: Основы теории сигналов та розподілу інформації: Підр. / [Кувшинов О.В., Лівенцев С.П., Лежнюк О.П., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.]. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 331 с.
12. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

Надійшла до редколегії 30.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ МОДУЛЯЦИИ

О.Г. Жук

В работе предложена методика оценивания параметров сигнала с цифровыми видами модуляции, которая не предусматривает использование эталонных сигналов. Методика позволяет увеличить скорость определения вероятности ошибочного приёма сигнала в сравнении с классическими методами.

Ключевые слова: средство радиосвязи, вероятность ошибочного приёма, соотношение сигнал/шум.

METHOD OF ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF SIGNALS WITH DIGITAL MODULATION TYPES

O.G. Zhuk

In work proposed method of estimation of the parameters of signals with digital modulation types, which do not use reference signals. Method allow to increase speed of definition of probability erroneous reception signal in comparison with classical methods.

Keywords: the radio, the probability of erroneous reception, the signal-to-noise.

УДК 621.396.96

О.С. Мальцев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ

У статті надається класифікація просторових методів множинного доступу та можливих варіантів реалізації комбінованих методів множинного доступу у мережі радіодоступу, які базуються на основі просторового та випадкового методів. На основі порівняння енергетичних бюджетів каналів виміру кутових координат та каналу передачі інформації показано, що найбільш доцільно використання складних сигналів у каналі виміру кутових координат.

Ключові слова: комбіновані та просторові методи множинного доступу, енергетичний бюджет каналів.

Вступ

Постановка проблеми й аналіз літератури. У сучасному суспільстві телекомунікаційні мережі (ТКМ) та технології відіграють роль прискорювача розвитку інформаційних (технологічних) економік і переходу до нового рівня якості життя людей. Активний процес міжнародної стандартизації, виробництва бездротового обладнання і розгортання мереж передачі інформації традиційно виводить на передній план завдання фізичного рівня. Проте часто виникає ситуація, в якій алгоритм управління доступом до середовища найчастіше представляє собою «вузьке місце» всієї системи зв'язку та суттєво знижує її потенційну продуктивність [1 – 3]. Це обумовлює актуальність вдосконалення методів множинного доступу (МД).

Відомо [4, 5], що при розробці сучасних стандартів радіодоступу закладається можливість широкого використання просторових методів МД. Однак, слід зауважити, що використання просторових методів МД не завжди можливе як у зв'язку з технічною реалізацією, так і з можливістю утворення просторових каналів. Це обумовлює актуальність розвитку комбінованих методів множинного доступу на основі методу просторового розділення.

Мета роботи. Порівняльний аналіз комбінованих методів множинного доступу на основі методу просторового доступу.

Основна частина

Метод доступу в мережі радіодоступу істотно визначає основний показник інформаційної мережі - пропускну здатність. Дійсно сумарна пропускну здатність мережі радіодоступу залежить від:

- кількості використовуваних частотних ресурсів;
- способу розподілу частотно-територіального ресурсу;
- можливостей повторного використання частотних каналів;

- умов поширення радіохвиль;
- заводської обстановки та інших факторів.

В даний час значна увага приділяється МД з просторовим розділенням каналів (SDMA - Space Division Multiple Access).

Класифікацію просторових методів МД показано на рис. 1.

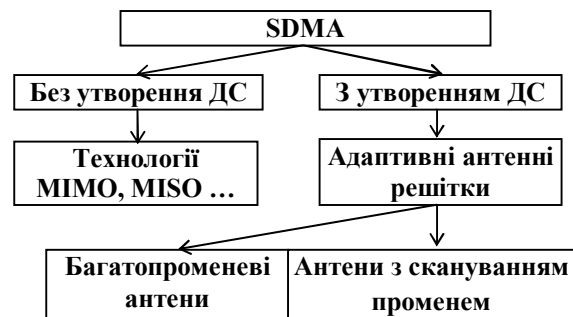


Рис. 1. Класифікація просторових методів МД

SDMA поділяється на методи, що базуються на утворенні та без утворення діаграм спрямованості (ДС) антен.

Серед технологій без утворення ДС є технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output) – багатоеlementні антенні системи на прийом/передачу та її різновиди.

Ці технології базуються на незалежній обробці безлічі перевідбиттів сигналів в умовах щільної забудови.

Технологія з утворенням ДС антени базується на використанні таких алгоритмів і пристроїв, як адаптивні антенні системи (beamforming).

Адаптивне формування ДС забезпечує збільшення дальності дії, зниження рівня інтерференції і збільшення пропускну здатності системи. Це призводить до значного розширення зони обслуговування в умовах побудови мережі за принципом макростільників. З іншого боку, технології MIMO забезпечують збільшення пропускну здатності в мікро- піко- і навіть наноструктурах, хорошим при-

кладом яких є внутріофісна система. Використання технологій МІМО і адаптивних антен, що доповнюють одна одну, дозволить отримати переваги, що даються обома технологіями.

При цьому для першої технології для кожного абонента в загальній смузі частот формуються окремі кодовані канали, що дозволяє ефективно використовувати частотний ресурс. Застосування ж цифрових антенних решіток (друга технологія) дозволяє відповідно до закладеного алгоритму формувати необхідні діаграми спрямованості, як на прийом, так і на передачу (наприклад, сформувати максимум ДСА в напрямку на джерело передачі інформації і мінімум на джерело завад), що істотно розширює можливості цього методу МД. Дійсно, в цьому випадку забезпечується просторовий метод розділення абонентів (просторовий МД). Однак це вимагає організації значного числа просторових каналів і, як наслідок, значних геометричних розмірів антеною решітки.

Дійсно, загальна кількість просторових каналів можливо оцінити за наступним виразом:

$$N = \frac{\beta_{obz} \cdot \varepsilon_{obz}}{\Delta\beta \cdot \Delta\varepsilon},$$

де $\beta_{obz} (\varepsilon_{obz})$ – зона огляду за азимутом та кутом місця, $\Delta\beta (\Delta\varepsilon)$ – ширина ДС антени за азимутом та кутом місця.

Слід зауважити, що паралельна організація просторових каналів не завжди виправдовує себе. Дійсно, крім складності у організації цієї процедури, при прийнятних розмірах антенної решітки не вдається здійснити просторовий розділ усіх абонентів, особливо за кутом місця. Перехід до дискримінаційних методів дозволить значно поліпшити просторовий розділ абонентів, але ускладнить обробку інформації. При паралельній організації просторових каналів деякі канали будуть не задіяними, що знижує ефективність такого способу МД.

Можливим варіантом підвищення ефективності просторових методів МД є перехід до комбінованих методів МД, основою яких є просторовий. Дійсно, комбіновані методи являють собою комбінації попередніх методів розподілу ресурсу, і реалізують стратегії, в яких вибір методу є адаптивним для різних користувачів з метою отримання характеристик використовуваного ресурсу каналу, близьких до оптимальним. В якості критерію оптимальності, як правило, приймають коефіцієнт використання пропускної здатності каналу.

У [6] запропоновано комбінований метод просторового МД на основі просторового та довільного методів. Суть цього методу полягає у наступному. Базова станція має антенну решітку з можливістю електронного управління напрямком формування ДС, а також прийому та оцінки кутових координат

мобільних станцій, які випроменили сигнал запиту на передачу. Після оцінки кутових координат базова станція формує у напрямку на мобільну станцію вузькоспрямований промінь та здійснюється обмін інформацією між базовою та мобільною станцією.

Для однозначного виділення потрібного абонента точність виміру кутових координат повинні задовольняти рівнянню

$$\sigma_{\beta(\varepsilon)} \ll \Delta\beta(\Delta\varepsilon). \quad (1)$$

Загальну класифікацію комбінованих методів МД на основі просторового та випадкового наведено на рис. 2.



Рис. 2. Класифікація комбінованих методів МД

Запропоновані методи відрізняються способом виміру (передачі) кутового положення абонента відносно базової станції. Метод з виділенням частотним каналом дозволяє організувати передачу кутових координат. Однак частина частотного ресурсу повинна бути задіяна на передачу кутових координат і, як наслідок, пропускна спроможність мережі зменшується. Для методів без виділення частотного ресурсу характерне використання виміру кутових координат абонентів і організація передачі інформації з використанням усього частотного ресурсу мережі. Це може бути здійснено з використанням простих та складних радіосигналів.

Використання простих радіосигналів для каналу виміру кутових координат потребує складної процедури зниження їх впливу на якість передачі інформації. Дійсно, ці сигнали будуть суттєво збільшувати рівень внутрісистемних завад і, як наслідок, призведе до зниження пропускної здатності мережі радіодоступу. Використання складних радіосигналів при цьому є більш доцільним. Це викликано наступними двома обставинами:

- перехід до просторових методів МД дозволяє суттєвим чином збільшити зону дії базової станції як у низхідній, так і у висхідній лініях зв'язку. Це обумовлено використанням вузько спрямованих ДС з значним коефіцієнтом підсилення.

- вимір кутових координат абонентських станцій здійснюється у радіолінії з слабко спрямованою антеною, що суттєво зменшує дальність виміру кутових координат абонентських станцій з потрібною якістю (1).

Проведемо порівняльний аналіз енергетичних бюджетів каналів виміру кутових координат та передачі інформації

$$P_{RI} = P_{RPI},$$

де P_{RI} – потужність на вході приймача радіолінії при вимірі кутових координат, P_{RPI} – потужність на вході приймача радіолінії

Потужність на вході приймача радіолінії при передачі інформації можливо записати як

$$P_{RPI} = \frac{P_T G_R G_T}{L_S}, \quad (2)$$

де P_T – потужність передавача; G_R та G_T – коефіцієнти підсилення передавальної і приймальної антен, L_S – сумарні збитки у вільному просторі, котрі визначаються формулою

$$L_S = (4\pi r / \lambda)^2,$$

де r – відстань між базовою та абоненткою станціями.

Потужність на вході приймача радіолінії при вимірі кутових координат можливо записати як

$$P_{RPI} = \frac{P_T G_R G_{TI} B}{L_S}, \quad (3)$$

де G_{TI} – коефіцієнти підсилення приймальної антени при вимірі кутових координат, B – база складного сигналу.

Підставивши (2) у (3) отримуємо

$$G_T = G_{TI} B.$$

Таким чином, вибираючи базу сигналу, по якому здійснюють вимір кутових координат, можливо порівняти енергетичні бюджети каналів передачі

інформації та виміру кутових координат та забезпечити максимальну зону дії базової станції як у низхідній, так і у висхідній ліній зв'язку.

Висновки

Запропоновані комбіновані методи МД з одного боку зберігають переваги просторового методу МД та, з другого боку, значно зменшують кількість просторових каналів передачі інформації. Оптимальна кількість просторових каналів у запропонованих методах МД залежить від трафіку та є наступним питанням дослідження.

Список літератури

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Раснаев Ю.А. — М.: ЭкоТрендз, 2005. — 384 с.
2. Alazemi H.M.K., Margolis A., Choi J., Vijaykumar R., Roy S. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes. *Computer Communications*, 2007, vol. 30, no. 18, pp. 3652-3661.
3. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополнено. — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.
4. Обод И.И. Сравнительный анализ методов множественного доступа в мобильных информационных сетях / И.И.Обод, Кинан Арус // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. — Вип. 1(108). — Х.: ХУПС, 2013. — С. 207-211.
5. Обод И.И. Информационная емкость мобильных информационных систем и сетей / И.И.Обод, Кинан Арус // Збірник наукових праць ХУПС: - Вип. 1(34). — Х.: ХУПС. - 2013. — С. 87-89.
6. Пат. на корисну модель № 107159 Україна, МПК H04L 12/00 H01Q 23/00. Спосіб передачі інформації / О.І. Цопа, І.В. Свид, О.С. Мальцев від 25.05.2016.

Надійшла до редколегії 30.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ РАДИОДОСТУПА

А.С. Мальцев

В статье приводится классификация пространственных методов множественного доступа и возможных вариантов реализации комбинированных методов множественного доступа в сети радиодоступа, которые базируются на основе пространственного и случайного методов. На основе сравнения энергетических бюджетов каналов измерения угловых координат и канала передачи информации показано, что наиболее целесообразно использование сложных сигналов в канале измерения угловых координат.

Ключевые слова: комбинированные и пространственные методы множественного доступа, энергетический бюджет каналов.

COMBINED METHOD FOR INCREASING CAPACITY RADIO ACCESS NETWORK

O.S. Maltsev

The article provides methods of classification of the spatial multiple access and possible embodiments of a combined multiple access method in a radio access network, which are based on spatial and random techniques. On the basis of comparison of energy budgets of measurement channels angular coordinates and information channel it shows that the most expedient use of complex signals in the channel measuring angular coordinates.

Keywords: combined and spatial multiple access techniques, energy budget channels.

УДК 621.391; 621.398(075.8)

О.С. Панкратова

Державний університет телекомунікацій, Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ WiMAX

У статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерія наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад BPSK).

Ключові слова: система WiMAX, Smart-антена, функція розподілу.

Вступ

Системи WiMAX, як системи наступного покоління високошвидкісних бездротових комунікацій, зараз широко використовується завдяки їх великій інформаційній ємності, великого розміру покриття цих систем, і характерні для них розроблені системи менеджменту якості (QoS). Ці системи можуть бути застосовані до всіх видів сучасної технології: модуляції, адаптивної модуляції OFDM та кодування типів, адаптована для вирішення конкретної проблеми побудови антенних систем, простір-час кодування і навіть режимі MIMO (кілька входів і виходів). Всі ці інструменти призначені для збільшення оперативних параметрів системи. Можна стверджувати, що за допомогою технології WiMAX можна передавати дані на відстань до 50 км зі швидкістю до 75 Мбіт/с.

Три з чотирьох специфікацій фізичного рівня стандартів IEEE 802.16d і IEEE 802.16e (WirelessMAN – SCA, OFDM і OFDMA) передбачають опціональні режими роботи з використанням антенної техніки MIMO або адаптивних антенних систем (Adaptive Antennas Systems – AAS). Перший режим, припускає комбіноване застосування схем просторового кодування/мультиплексування і MIMO (іноді званий "Simple MIMO"). Для другого, разом з використанням згаданих схем, характерне застосування AAS і технології цифрового формування променя. У літературі цей режим згадується як "AAS-MIMO".

Особливістю радіоінтерфейсу Mobile WiMAX є інтелектуальне управління діаграмою спрямованості (Smart BeamForming), яке реалізується на базі адаптивної антенної системи (AAS). Особливістю цієї технології є зміна діаграми спрямованості антени залежно від розташування абонентів. Якщо застосовується звичайна секторна антена, діаграма спрямованості має заздалегідь задану незмінну форму. В той же час AAS має здатність динамічно змінювати діаграму спрямованості антени, зосереджуючи усю випромінювану потужність або напрям найбільш ефективного прийому відповідно до розміщення абонентів. Реалізація Smart BeamForming дозволяє міняти діаграму спрямованості антени кожен кадр, тобто кожні 5 мс, завдяки чому можна використовувати

цю технологію навіть для абонентів, які швидко рухаються.

Основна частина

Smart-антени з'явилися на стику цифрового діаграмоутворення і секторних антен і спочатку використовувалися у військовому радіозв'язку. На відміну від звичайних антен, Smart -антена є складною системою елементів антенних фідерів і додаткових функціональних пристроїв, що зумовлюють її "інтелектуальні" властивості. Принцип роботи Smart-антен ґрунтується на допущенні про те, що джерело корисного сигналу і перешкоди рідко поєднані по напрямку. Це дозволяє, забезпечивши максимум посилення антени в потрібному напрямі і сформувавши мінімум її діаграми спрямованості (ДН) на джерело перешкоди, багаторазово підвищити робоче відношення сигнал-шум на вході приймача.

Основою Smart-антени є спеціальна конструкція антенної решітки (АР), яка є сукупністю дискретних елементів, когерентно по відношенню до інших елементів тих, що приймають або випромінюють електромагнітні сигнали. Як елементи АР найчастіше використовують прості пристрої: вібратори, щілини, спіралі, рупори і тому подібне. Як правило, ці пристрої об'єднані в регулярні структури правильною геометричною формою.

Елементи АР підключені до приймача через багатоканальну систему приємозбуджувачів, що дозволяє отримувати в розкритті АР різні розподіли поля, формуючи таким чином різні ДН. Результуюча ДН формується внаслідок "інтерференції" хвиль, що випромінюються елементами АР. Принципова особливість АР полягає в тому, що її ДН виявляється легко керованою шляхом зміни комплексної амплітуди і поляризації хвиль, що випромінюються елементами АР. На практиці найчастіше використовують т.з. фазовий метод управління ДН антенних решіток, метод частотного сканування або їх поєднання.

Як правило сигнал, прийнятий кожним з просторово рознесених елементів АР, множиться на деякий ваговий коефіцієнт, після чого ці сигнали об'єднуються. Вагові коефіцієнти обчислюються відповідно до вибраного алгоритму адаптації. Такий процес оптимізації випромінювання в зарубіжній літе-

ратурі отримав найменування "цифрове формування променя". Адаптивні антенні системи "Повністю інтелектуальні" і можуть динамічно реагувати на зміни, що відбуваються в комунікаційному середовищі і самостійно до них адаптуватися. Функціонуванням адаптивної антенної системи управляє складний обчислювальний комплекс. Також як і в системах з комутованим променем, в адаптивних антенних системах формується багатопроточна ДН. Проте напрями формованих при цьому променів не є фіксованими і можуть змінюватися. Орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх. Одночасно ця ж схема мінімізує, інтерференційний вплив з боку "сторонніх" РЕС шляхом формування "нулів" ДН антени у напрямі приходу перешкод. Адаптивна антена - це модульний пристрій, що виконує наступні функції:

- прийом усіх сигналів, що поступають, включаючи перешкоди і копії корисного сигналу, а також їх оцінювання по відповідних алгоритмах;
- розпізнавання (визначення) корисного сигналу і його виділення серед небажаних сигналів;
- "підстроювання" променя ДН у напрямі приходу корисного сигналу при переміщенні користувача і його постійне відстежування;
- формування нулів ДН у напрямі приходу перешкод і постійне оновлення (корекцію) вагових коефіцієнтів обробки.

Як згадувалося вище, ДН ФАР або адаптивної антенної системи можна змінювати, управляючи фазами напруги живлення її елементів. Щоб пояснити, як працює адаптивна антена, розглянемо структурну схему.

"Серцем" адаптивної антенної системи є цифровий процесор (по суті це адаптивний фільтр), що відповідає за прийом і обробку сигналів.

Основна мета обробки полягає в максимізації відношення сигнал/шум за рахунок автоматичного регулювання вагових коефіцієнтів (w_i), з якими

підсумовуються сигнали, прийняті окремими елементами АР.

Сигнали, прийняті елементами антенних ґрат, проходять через тракт перетворення частоти і оцифровуються в лінійці АЦП. На виході АЦП формується набір оцифрованих сигнальних відліків (x_1, x_2, \dots, x_n) далі поелементно перемножуваних з набором вагових коефіцієнтів (w_1, w_2, \dots, w_n) і потім підсумовуваних. Отриманий таким чином сигнал порівнюється з деяким опорним сигналом, внаслідок чого формується сигнал помилки, що підлягає мінімізації. У адаптивних антенних системах із замкнутою петлею управління, цей опорний сигнал є отриману на попередньому такті обробки оцінку корисного сигналу (у припущенні про те, що ДН антени орієнтована на його джерело).

Вагові коефіцієнти в процесі адаптації змінюються відповідно до того або іншого критерію міні-

мізації помилки. Наприклад, при використанні алгоритму LMS (мінімізації середнього квадрата помилки - Least Mean Square) оновлені вагові коефіцієнти розраховуються по формулі:

$$w(k+1) = w(k) + \mu \cdot e'(k) x(k), \quad (1)$$

де $w(k)$, $e(k)$, $x(k)$ - вектори вагової обробки, сигналу помилки і сигналу на вході відповідно, ' - знак комплексного сполучення. Для генерування сигналу помилки опорний сигнал $u(p)$ віднімається з сигналу на виході фільтру. Далі сигнал помилки використовується для підстроювання коефіцієнтів цифрового фільтру, що мінімізує сигнал помилки на наступному такті обробки. Суть завдання адаптивної фільтрації, таким чином, полягає в мінімізації розузгодження між вхідним сигналом $x(p)$ і опорним сигналом $u(p)$.

Початкові значення коефіцієнтів фільтру, як правило, визначаються при передачі деякого еталонного сигналу, що є відомим зразком даних. При цьому роль алгоритму адаптації полягає в коригуванні коефіцієнтів фільтру для встановлення відповідності між оцінкою прийнятих даних і їх еталонном. У рамках даної статті пропонується оптимізувати критерій вибору променя таким чином.

У Smart - антенах з адаптивним управлінням орієнтацією променів управляє цифрова схема, яка направляє їх на бажаних абонентів і далі здійснює супровід при переміщенні останніх.

Обслуговування абонентів, оснащених зовнішньою спрямованою антеною на найшвидкіснішій модуляції 64QAM, підтримувальною максимальну символну швидкість і відповідну швидкість передачі даних, забезпечується на дальності до 25 км, 16QAM - на дальності до 40-45 км. Здатність підтримки тієї або іншої модуляції є важливою особливістю технології WiMax і залежить від багатьох параметрів зв'язку, і, в першу чергу, від енергетичних параметрів системи. У загальному випадку можна сказати, що система вибирає тип модуляції виходячи з енергетичних характеристик прийнятого сигналу. Оптимізація критерію полягає в заміщенні складної схеми управління адаптивним променем або вимірника співвідношення сигнал/шум простим детектором BPSK або QPSK - модуляції. Система WiMax автоматично буде переходити до простішого типу модуляції при погіршенні співвідношення сигнал/шум і означає, що цю операцію можна повторно для Smart - антен не проводити. Цей критерій чудово підходить як для антен з комутованим променем, так і для адаптивних систем.

Розглядаючи питання визначення характеристик функціонування Smart-антен на основі неупорядкованих моделей масового обслуговування, слід зазначити, що облік виду вхідного інформаційного потоку (телефонія, передача даних, IP-TV) або розподілу часу перетворення інформації виробляється шляхом апроксимації відповідного розподілу $A(t)$ або $B(t)$ однієї з шматкових функцій розподілу. Відмітною особливістю використовуваних моделей є наявність неординарних потоків подій.

Нехай є Smart - антена з обмеженим числом променів різного напрямку N , заявки на яку поступають по h штук, причому проміжки між моментами приходу сусідніх розподілені згідно із законом $A(t)$. Одночасно обслуговуються i / заявок, час обслуговування розподілено згідно із законом $B(t)$. Якщо число заявок на Smart - антену менше / (відсутні абоненти мережі з типом модуляції BPSK), то обслуговуючий пристрій простуює.

Розглянемо однолінійну (тобто одночасно обслуговується не більш за одну заявку) Smart - антену з обмеженим числом місць очікування і неординарними потоками подій, в якій функція $A(t)$ має вигляд, відповідний розподілу Эрланга або гіперекспоненціальному розподілу, а час обслуговування розподілено по одній з шматкових залежностей. Ввівши додаткові стани системи по методу фаз, можна виділити точки регенерації, якими для даного випадку являтимуться моменти часу, що безпосередньо йдуть за виходом обслугованих заявок з Smart-антен. Розглянемо випадок, коли

$$A(t)=1-e^{-\lambda t} \quad (2)$$

представляється у вигляді

$$\|P_{ij}\| = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & a & b & v \\ \hline & & d & e \\ \hline z & & & \\ \hline \end{array} \left. \begin{array}{l} l \text{ рядків} \\ N+1-l \text{ рядків} \end{array} \right\} \quad (3)$$

причому підматриці a , b , v , відповідають режиму простою обслуговуючого пристрою (оскільки число заявок на Smart - антену менше); а матриці g , d , e - режиму роботи обслуговуючого пристрою.

Введемо величини

$$K_j = P\{\xi=j\}, \quad j=0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

де ξ - число заявок, що поступили в систему за час між моментами виходу з Smart - антен двох сусідніх обслугованих заявок. Тоді елементи підматриць матриці (3) можна записати таким чином:

$$p_{ij} = 0, \quad i \geq j, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = k_r, \quad r = \frac{j-i}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j \leq N;$$

$$p_{ij} = 0, \quad r = \frac{j-i}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1}, \quad j = N, \quad r = \frac{N-i-1}{h}, \quad i \leq j;$$

$$p_{ij} = 0, \quad i-1 \geq j; \quad (5)$$

$$p_{ij} = k_r, \quad r = \frac{j-i+1}{h} = 0, 1, 2, \dots, \quad i-1 \leq j \leq N;$$

$$p_{ij} = 0, \quad r = \frac{j-i+1}{h} \neq 0, 1, 2, \dots, \quad i \geq j;$$

$$p_{ij} = 1 - \sum_{s=0}^r k_s = k_{r+1}, \quad j = N, \quad r = \frac{N+1-i-1}{h}, \quad i \geq 1.$$

Величини k_j ($j=0, 1, 2, \dots$), що входять в ці формули, визначаються відповідно до виразу:

$$k_r = \int_0^{\infty} \frac{(\alpha t)^r}{r} e^{-\alpha t} dF(t) = \frac{(-1)^r}{r} \alpha^r \left[\frac{d^r \phi(s)}{ds^r} \right]_{s=\alpha}. \quad (6)$$

Прослідкуємо вплив величин h та l на вигляд матриці перехідної вірогідності. При $h=1$ і $l=3$ ця матриця має вигляд

$$P_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ \hline 0 & k_0 & k_1 & \dots & k_{N-2} & k_{N-1} \\ \hline 0 & 0 & k_0 & \dots & k_{N-3} & k_{N-2} \\ \hline k_0 & k_1 & k_2 & \dots & k_{N-1} & k_N \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 0 & 0 & 0 & \dots & k_2 & k_3 \\ \hline \end{array}, \quad (7)$$

а при $h=2$ та $l=1$

$$P_{ij} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ \hline k_0 & 0 & k_1 & 0 & \dots & k_{N/2} \\ \hline 0 & k_0 & 0 & k_1 & \dots & \frac{k_{N-1}}{2} \\ \hline 0 & 0 & k_0 & 0 & \dots & \frac{k_{N-1}}{2} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & k_1 \\ \hline \end{array} \quad (8)$$

Зіставлення матриць (7), (8) між собою дозволяє зробити наступні висновки:

1. Величина l визначає число рядків складових підматриць (a , b , v) розкладанні (3).

2. Величина h визначає число рядком нульових елементів матриці, що стоять, причому це число рівне $h-1$.

3. Рівняння системи

$$p_j = \sum_{i=0}^n p_{ij} p_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n,$$

окрім відповідного $j = N$, можна записати так:

$$p_j = \sum_{s=x_1}^k k_s p_{j+1-hs} + \sum_{s=x_2}^k k_2 p_{j-hs} r(1-j+kh-1), \quad (9)$$

де $k = \left[\frac{j}{h} \right]$, $j = 0, 1, \dots, N-1$;

$$x_1 = \left[\frac{j-N+h-1+1}{h} \right] r(j-N+1); \quad (10)$$

$x_2 = \left[\frac{j-1+h}{h} \right] r(j-1+1)$, причому скрізь $j < N$.

Відмітимо, що для випадку $l \geq h$ другий член суми (9) завжди відмінний від нуля. Дійсно, при цьому має місце

$$1 - 1 - \left(j - \left[\frac{j}{h} \right] h \right) \geq 0, \quad r(1 - j + kh - 1) = 1. \quad (11)$$

Приведемо вирази для переходу до вірогідності виду p_i , ($i = 0, 1, \dots, r$), усередненим по усьому часу функціонування Smart-антен в стаціонарному режимі. Інтенсивність точок регенерації

$$\alpha = \frac{\lambda}{p_0 + \lambda / \mu}. \quad (12)$$

Система рівнянь для ймовірностей вигляду $\alpha p_0 - \lambda \bar{p}_0 = 0$;

$$\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i = 0, \quad 0 \leq i \leq h;$$

$$\alpha p_i - \alpha p_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \lambda \bar{p}_{i-h} = 0, \quad h \leq i \leq r, \quad r = N + 1; \quad (13)$$

$$\lambda \sum_{j=r-h}^{r-1} \bar{p}_j - \alpha p_{r-1} = 0.$$

З рішень цієї системи, враховуючи умову нормування, при конкретних значеннях h і N неважко отримати шукані співвідношення.

Інтенсивність точок регенерації

$$\alpha = \left[\frac{1}{\mu} + \sum_{i=0}^{l-1} \frac{1-i}{\lambda} p_i \right]^{-1}. \quad (14)$$

Відповідну систему рівнянь слід записати як

$$-\lambda \bar{p}_0 - \alpha p_0 = 0;$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i = 0, \quad 0 \leq i \leq l;$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda \bar{p}_i + \alpha p_i - \alpha p_{i-1} = 0, \quad 1 \leq i \leq r-1; \quad (15)$$

$$\lambda \bar{p}_{i-1} - \lambda p_i - \alpha p_{i-1} = 0, \quad r-1 \leq i \leq r;$$

$$\lambda \bar{p}_{r-1} - \alpha p_{r-1} = 0.$$

З рішення цієї системи отримуємо:

$$\bar{p}_i = \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=0}^i p_j, \quad 0 \leq i \leq l; \quad \bar{p}_i = \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-1+1}^i p_j, \quad 1 \leq i \leq r-1; \quad (16)$$

$$\bar{p}_i = \frac{\alpha}{\lambda} \sum_{j=i-1+1}^{r-1} p_j, \quad r-1 \leq i \leq r; \quad \bar{p}_r = 1 - \frac{\alpha l}{\lambda}.$$

Для визначення функції розподілу часу очікування використовуємо формулу повної вірогідності. При цьому виявляється, що вид функції розподілу залежатиме від порядкового номера заявки, що знаходиться в системі, причому можна помітити періодичність величиною h , з якою в систему поступають заявки, що мають в стаціонарному режимі одну і ту ж функцію розподілу часу очікування. Завдання зводиться до знаходження виду функцій $F_{mk}(x)$, де $k = 1, 2, \dots, h$.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ SMART-АНТЕН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ WIMAX

О.С. Панкратова

В статье предложено оптимизировать применяемые в технологии WiMax Smart-антенны путем применения критерия наведения луча детектора низкого типа модуляции (например BPSK).

Ключевые слова: система WiMAX, Smart-антенна, функция распределения.

OPTIMIZATION PARAMETERS FOR SMART-АНТЕН WIMAX TECHNOLOGY

O.S. Pankratova

The article offers optimized technologies used in WiMax Smart-antenna by applying the criterion aiming beam detector type low modulation (eg BPSK).

Keywords: system of WiMAX, Smart-antenna distribution function.

Висновки

У даній статті запропоновано оптимізувати вживані в технології WiMax Smart-антени шляхом застосування критерія наведення променя детектора низького типу модуляції (наприклад BPSK). Оскільки в стандарті 802.16 передбачена автоматична зміна типу модуляції при збільшенні відстані до абонента або посиленні перешкод, то немає необхідності повторно проводити вимір співвідношення сигнал/шум. Це дозволить скоротити апаратну частину устаткування базової станції, а значить і її вартість, а також спростить рішення задачі "бесшовності" мережі, оскільки зменшиться час обробки слабких сигналів від видалених абонентів.

На основі принципів і методів математичного моделювання розглянутий алгоритм дослідження таких систем Smart-антен.

Представлений варіант побудови мережі зв'язку на основі технології WiMax із застосуванням оптимізованих Smart-антен. Найважливішою перевагою Smart-антен є можливість адаптації до заводової обстановки і багатопроміневості, що підвищує якість передачі даних, забезпечує зниження енергоспоживання абонентським терміналом і малу вірогідність перехоплення і виявлення.

Список літератури

1. Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения// ФГУП ЦНИИС.–2006.–С.58-87.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Сети мобильной связи LTE технологии и архитектура.–Москва: Ско-Трендз, 2010.–С.120-126.
3. Кучерявый А.Е., Прокопьев А.В., Кучерявый Е.А. Самоорганизующиеся сети–СПб.:Любович, 2011.–С.84-96.
4. Вишневский В.Энциклопедия WiMax. Путь к 4G./В. Вишневский, А. Портной, И. Шахнович.–Москва: Техносфера, 2009.–С.260-273.
5. Леценко О.О. Застосування методів оптимізації в системах управління сучасними телекомунікаційними мережами /О.О.Леценко, Т.В.Майсак // Наукові записки УНДІЗ. – 2013. – № 4 (28). – С. 37-40.
6. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами.–Москва: Радио и связь, 1991.–С.64-77.

Надійшла до редколегії 1.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

УДК 004.056

Д.О. Семченко¹, О.А. Замула²¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

РОЗРОБКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ЗАХИЩЕНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ НА ОСНОВІ УПРАВЛІННЯ НЕФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ МЕРЕЖЕВИХ ПАКЕТІВ

Представлено модель захищеного каналу зв'язку, що будується на управлінні нефункціональними властивостями мережесих пакетів. Наведені граничні вимоги, щодо використання розробленої моделі, наведена структура моделі та кожного її компонента. Вказані особливості розробленої моделі та сформульовані пропозиції щодо використання моделі в сучасних телекомунікаційних системах.

Ключові слова: модель, повідомлення, канал зв'язку, часові затримки, пакет даних, бітчасове значення.

Вступ

Постановка задачі. Важливим фактором що впливає на розвиток інформаційно-телекомунікаційних систем - є підтримка різноманітних зв'язків між абонентами в мережі з одночасним забезпеченням безпеки цих комунікацій [1]. Дуже часто постає задача передачі коротких повідомлень, які використовуються абонентами та являють собою комерційну таємницю. Саме тому, під час побудови корпоративної мережі, постає питання створення надійного захисту від проникнення порушників у мережу та захисту передачі даних всередині мережі. Такий захист реалізується, в тому числі, на базі протоколів TCP/IP, UDP і стандартних Internet-додатків (e-mail, Web, FTP) [2].

Для вирішення задач надійного захисту ресурсів в ІТС необхідно, щоб методи, моделі, засоби та заходи захисту забезпечували, по-перше, захист інформації під час передачі даних через мережу від відомих атак на основі використання криптографічних алгоритмів перетворення інформації, і, по-друге - скритність самого факту передачі цих даних [4].

Використовуючи абстрактну мережеву модель OSI при розробці моделі захищеного каналу зв'язку, процес аналізу пакетів здійснюється на прикладному рівні, у той час, як вбудова затримок здійснюється на транспортному рівні. Інкапсуляція властивостей між рівнями моделі OSI дозволяє вирішити поставлені задачі та використовувати нефункціональні властивості пакетів для передачі інформації у мережі [2, 3].

Визначення граничних вимог щодо моделі захищеного каналу зв'язку. При розробці моделі захищеного каналу зв'язку, визначимо область застосування моделі та, згідно з цим, сформуємо граничні вимоги, що необхідні для функціонування цієї моделі. Для цього був проведений аналіз вузлів типового каналу зв'язку. Аналіз та отримані коефіцієнти бітових помилок для різних часових вікон і мере-

жесих вузлів з використанням метрики Левенштейна [5], дозволили зробити припущення, що коефіцієнт бітових помилок, для кожного вузла, менше ніж 10% - є прийнятним значенням. Прикладом цього став обраний вузол в Сінгапурі, з круговою затримкою (RTT) в 236 мс. Для розміру часового вікна між пакетами даних в 20 мс, коефіцієнт помилок каналу становить близько 4,5%, що є цілком придатне для багатьох додатків з низькою пропускнуою здатністю.

Однак гарантовано передбачити затримку не можна у зв'язку з різними факторами, що включають перерахунок маршрутів в результаті адміністративних або аварійних змін в мережі, а також, у зв'язку з можливими навантаженнями на роутери, що призводять до переповнення їх внутрішніх черг. Однак, такі події в мережі виникають відносно рідко, а черги в роутерах цілком обробляються за час, не більше сотен наносекунд. Тому, якщо в мережі між двома абонентами знаходиться близько 15 роутерів (а це можуть бути протилежні сторони планети), то згідно з проведеними розрахунками, для 95% пакетів варіювання затримки буде не більше 5 мс. А для усунення решти 5% втрат буде використана повторна передача одних і тих же даних, що розбиваються на пакети.

Після проведеного аналізу була визначена область застосування, а саме - це канал з низькою пропускнуою здатністю, що використовуються для вирішення задачі передачі коротких повідомлень.

Граничними вимогами для можливості реалізації розробленої моделі є: наявність пакетів в мережі; висока частота відправки пакетів та час між відправленнями двох пакетів носіїв інформації повинні варіювати в інтервалі як мінімум 20 мс.

Основна частина

Розробка моделі починається з перевірки каналу на придатність передачі повідомлення. На рис. 1 надана схема перевірки каналу.

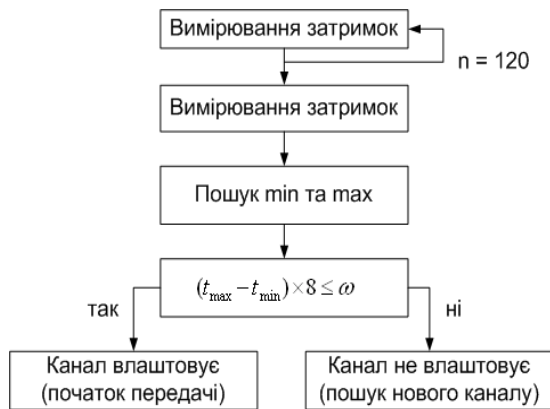


Рис. 1. Схема перевірки каналу

На рис. 1 наведено параметри:

n – кількість вимірювань тривалостей передачі пакетів;

t_{max} – максимальна тривалість передачі пакетів між абонентами у мережі

t_{min} – мінімальна тривалість передачі пакетів між абонентами у мережі,

Придатність каналу зв'язку визначається нерівністю $(t_{max} - t_{min}) * 8 \leq \omega$.

Після перевірки каналу зв'язку на придатність передачі даних, необхідно визначити структуру передачі інформації цим каналом.

Структура передачі інформації наведена на рис. 2. Якщо символ не передається, то в мережу відправляється тільки FSS (послідовність синхронізації кадрів), CRC (алгоритм знаходження контрольної суми, призначений для перевірки цілісності даних) та кількість відправлених та отриманих пакетів. Це потрібно для того, щоб отримувач зміг встановити факт доставки інформації до відправника.

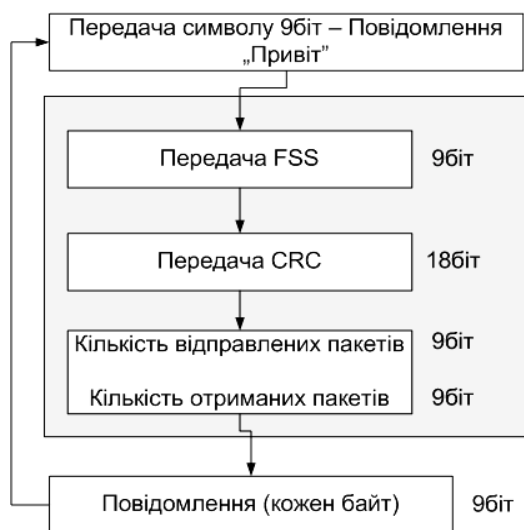


Рис. 2. Структурна схема передачі інформації

Для забезпечення синхронізації даних будемо використовувати дев'яти бітову послідовність, іме-

новану як FSS. Основною метою FSS є не розбивання шифрованого потоку бітів на кадри, а поліпшення визначення початку послідовності несучих пактів і відкидання усіх попередніх пакетів, які надіслані “клієнтом”. Як тільки FSS виявлена в потоці затримок, “клієнт” отримувач стає готовим для декодування корисних даних з затримок. Щоб компенсувати можливі втрати даних закодованих у вигляді затримок, одні й ті ж дані відтворюються повторно в затримках, як проста міра протидії пошкодженню даних, що виникли в результаті мережевого шуму. Як тільки всі необхідні закодовані дані відправлені через прихований тимчасовий канал, передачу даних слід повторити, починаючи з FSS. Це повинен враховувати “клієнт” отримувача.

FSS повинна обиратися таким чином, щоб запобігти її появі у безперервному потоці біт. Якщо на цей потік біт не накладати ніяких обмежень, то він потенційно може містити будь-яку послідовність. Таким чином, для запобігання появи FSS в цьому потоці, застосовується модифікація потоку, що називається Bit Stuffing. На Рис 3 показано, як в результаті Bit Stuffing встановлюється нульовий біт в середину октету. Якщо при цьому вибрати FSS, що складається з 9 одиничних біт, її поява в будь-якому місці модифікованого потоку буде неможливою.

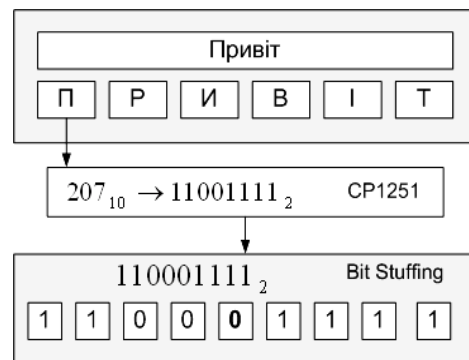


Рис. 3. Вставлення нульового біту в середину октету при Bit Stuffing

Крім FSS у структурі передачі інформації також використовується CRC (Cyclic redundancy check). Під CRC будемо розуміти алгоритм знаходження контрольної суми, призначений для перевірки цілісності даних. CRC є практичним застосуванням завадостійкого кодування, що заснований на певних математичних властивостях циклічного коду.

CRC потрібен для того, щоб унеможливити появу FSS у наступній бітовій послідовності.

Структурна схема отримання повідомлення при цьому має наступний вигляд (рис. 4), де:

t'_1 – дійсний час прийому попереднього несучого пакета;

t'_2 – дійсний час прийому поточного несучого пакета;

b_0 - бітчасове значення біта 0;

b_1 - бітчасове значення біта 1.

Бітчасові значення b_0 та b_1 повинні знаходитися в інтервалі $[0, \omega)$, і кожен з цих двох b_0 та b_1 бітчасових значень однозначно визначається довільним вибором бітчасового значення протилежного біту (для 0 це буде - 1 і навпаки).

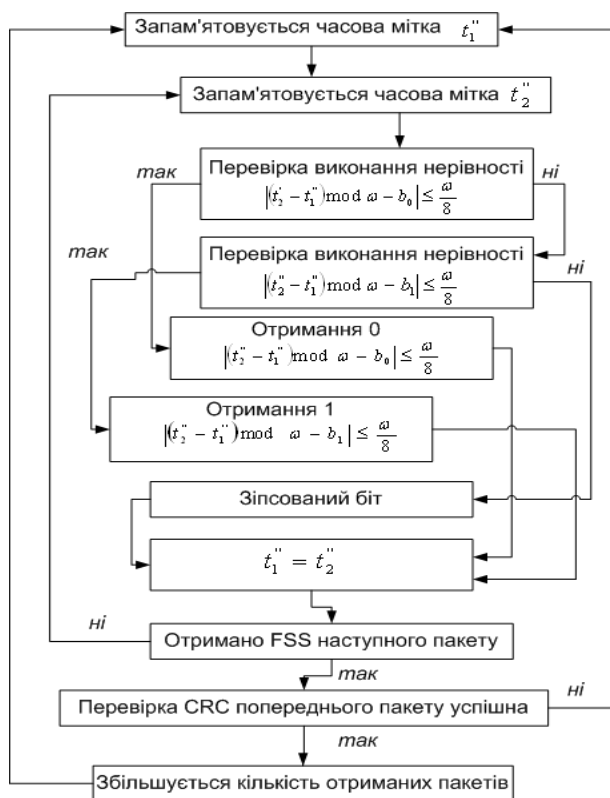


Рис. 4. Структурна схема отримання повідомлення

Основними компонентами, що застосовує розроблена модель є:

- користувачі (сторона передачі і прийому інформації);
- стороннє програмне забезпечення чий пакети даних піддаватимуться часовій модуляції;
- розроблене програмне забезпечення, що здійснює часову модуляцію пакетів даних;
- мережа.

Розглянемо більш детально кожен з компонентів:

Local Application – програмне забезпечення сторонніх виробників, що відправляє та приймає пакети даних, таким чином, спілкуючись з Remote application.

Remote application - програмне забезпечення сторонніх виробників, що знаходиться на протилежній стороні каналу зв'язку.

Developed software – розроблене програмне забезпечення, що маніпулює та аналізує затримки пакетів на обох сторонах каналу зв'язку з метою

встановлення каналу зв'язку у відповідності з запропонованою моделлю.

Developed software складається з основних ключових компонентів: Forwarder (приймач-передавач пакетів), Mediator (посередник при обміні даними між компонентами), Message Codec (кодувач/декодувач повідомлень), PRNG (генератор псевдовипадкових послідовностей), Bit Decoder (декодувач бітів), Bit Encoder (кодувач бітів), Pre-Configurator (формував початкової конфігурації генератора псевдовипадкових послідовностей (ГПСЧ)), HASHER – компонент, за допомогою якого здійснюється хешування паролів.

Forwarder (приймач-передавач пакетів) відкриває 2 сокета на прослуховування вхідних UDP пакетів - один з локального застосунка, інший - з віддаленої сторони. Кожен з цих сокетів використовується як для прийому, так і для відправки пакетів відповідній стороні. Відправлені пакети не змінюються після отримання з протилежного сокету. Потік, який обробляє ці повідомлення, повинен мати високий пріоритет для досягнення максимальної точності вбудовування та вимірювання затримок. Але навіть при цьому, маючи на увазі те, що Windows не є системою реального часу і, саме тому, не гарантує часову точність при «пробудженні» потоку, для вбудовування затримки в вихідні пакети - застосовується 2 етапи очікування.

Перший етап очікування - це «усилення» потоку на об'єкті таймера очікування, таймаут якого задається цілком менше, ніж необхідно для вбудовування затримки.

Другий етап очікування використовує «холостий цикл» затримки на лічильнику. Згідно з моделлю, вбудовування затримки повинно дозволити досягти точності до $0,1\mu s$. Як на першому етапі очікування, так і на другому передбачається не тільки витікання часу, але і поява пакетів на кожному з сокетів, що дозволяє забезпечити максимально швидко обробку одержуваного пакета.

Mediator (посередник при обміні даними між компонентами) координує дії і відображає призначений для користувача інтерфейс.

Крім того, він розраховує час, на який потрібно затримати пакет для кодування біта, який отримано від Message Codec, на основі значення, яке повертає Bit Encoder, а також часу, що минув з моменту відправлення попереднього несучого пакета.

Message Codec (кодувач/декодувач повідомлень) здійснює формування та розшифрування повідомлень. Під час розшифрування повідомлень, Message Codec буферизує послідовно вхідні біти, а виконує їх - Bit Destuffing (операція протилежна Bit Stuffing, що включає в себе перевірку і отримання одиничного біта в кожній дев'ятибітній послідовності). Як тільки Message Codec зустрічає дев'ять

послідовних одиничних біт, тобто FSS, то виконується перевірка CRC отриманого повідомлення і, якщо CRC послідовність вірна, то збільшується кількість отриманих повідомлень у внутрішньому лічильнику та передається текст повідомлення до Mediator. При формуванні повідомлень на початку Message Codec додає FSS, розраховує CRC повідомлення і додає його в заголовок, а також розраховує кількість успішно відправлених і отриманих пакетів, після чого виконує Bit Stuffing для кожного октету відправленого повідомлення після FSS.

Основною функціональністю PRNG (ГПБВ) є повернення значень в інтервалі від 0 до 20000, які в подальшому використовуються як значення 0 біта в мікросекундах.

Bit Decoder (декодувач бітів) відстежує найпершу появу FSS в бітовому потоці, що дозволяє відфільтрувати пакети, які ще не використовувалися для кодування повідомлення відправником. Як тільки така послідовність (FSS) виявлена, Bit Decoder переходить в режим декодування бітів (демодуляції затримок). В цьому режимі він відстежує потрапляння кожної затримки в інтервали толерантності біта 0 та біта 1 і, таким чином, може виявляти пошкодження даних на ранньому етапі декодування повідомлень.

Bit Encoder (кодувач бітів) отримує значення біта і повертає код отриманого біта в мікросекундах на основі значення повернутого PRNG.

Pre-Configurator (формує початкової конфігурації ГПБВ) запитує у користувача IP адресу і порт одержувача, локальний порт, на якому будуть очікуватися вхідні пакети, а також пароль для ініціалізації PRNG (Bit Encoder та Bit Decoder). Перед ініціалізацією PRNG паролі передаються HASHER.

HASHER (компонент, за допомогою якого здійснюється хешування паролів) приймає паролі і, за допомогою використання стандартного криптопровайдера операційної системи Windows, обчислює хеши і повертає їх до Pre-Configurator для подальшої ініціалізації PRNG.

Розглянемо процес відправки одного пакета даних з Local Application до Remote application:

1. Відправлений пакет приймається через Forwarder. Вміст пакету аналізується для виявлення несучого пакету. Решта пакетів передаються без затримки і без урахування самого пакету. А щодо несучих пакетів, Forwarder розрізняє два випадки:

1.1 Якщо це перший несучий пакет, що відправляється у мережу, Forwarder запам'ятовує час його відправлення і передає його в мережу без затримки;

1.2 Наступні несучі пакети затримуються на кількість мікросекунд, що зазначені Mediator у відповідь на повідомлення про появу несучого пакету.

2. Коли Forwarder повідомляє Mediator про від-

правку несучого пакету, Mediator робить запит до Message Codec про наступний біт повідомлення, що потребує відправки.

3. Message Codec попередньо зберігавши отримане від Mediator повідомлення, формує пакет даних, що складається з bit stuffing FSS, CRC, кількості відправлених та отриманих повідомлень а також текст повідомлення, та віддає до Mediator черговий біт.

4. Для трансформації отриманого біта Mediator звертається до Bit Encoder.

5. Bit Encoder опитує ГПБВ на предмет поточного значення нульового біту в мікросекундах і на підставі цього, якщо потрібно, обчислює значення одиничного біта (якщо прийшла 1) і передає результат обчислення до Mediator.

6. Mediator, на підставі отриманого від Forwarder часу, що пройшов з моменту відправки останнього несучого пакету, розраховує додаткову затримку і повідомляє Forwarder про те, на який час треба затримати поточний пакет.

7. Прочекавши заданий час, Forwarder відправляє пакет в мережу.

Розглянемо процес прийом пакету що знаходиться на стороні Remote application:

1. Forwarder приймає пакет, який був переданий через Developed software, що знаходиться на стороні Remote application, та запам'ятовує момент його приходу і передає без затримки до Local Application.

2. Forwarder розраховує пройдений час з моменту отримання попереднього несучого пакета і затримку, що розрахована, передає до Mediator.

3. Отримана затримка передається Bit Decoder для розшифровки.

4. Bit Decoder запрошує поточне значення нульового біту у ГПБВ та порівнює його з отриманою затримкою. На підставі порівняння вирішується, чи отримано нульовий, одиничний або пошкоджений біт.

5. Bit Decoder буферизує біти до того моменту, поки не отримана найперша FSS.

6. Mediator розрізняє два випадки:

6.1 Якщо Bit Decoder ще не виявив першу відправлену FSS, то ніяких дій з розшифрованим бітом не проводиться;

6.2 Якщо Bit Decoder повідомляє, що FSS була отримана раніше, розшифрований біт передається до Message Codec.

7. Message Codec акумулює отриманий біти і, як тільки отримано не пошкожене повідомлення, передає його до Mediator для виведення на екран.

Висновки

Цільовий аналіз потоку пакетів на предмет вбудованих затримок не дозволить відрізнити їх від

випадковості моменту відправки цих пакетів стороннім додатком – це дозволяє вирішити задачу скритності факту передачі даних між абонентами в мережі.

Виявлення передачі неможливо без знання поточного стану ГПВЧ [6]. FSS - це дев'ять одиниць (біт), але кожній одиниці відповідає випадкова затримка, тому, при спробі виявлення «видно» тільки випадкові моменти появи пакетів в мережі. Те, що ці випадкові моменти кодують саме одиниці, знають тільки відправник і одержувач тому, що тільки їм відомо стан ГПВЧ [7, 8].

Для пакетів, для яких мережевий шум виходить за межі інтервалу толерантності, виникають втрати, які покриваються за рахунок повторної передачі одного і того ж пакету. Виділення інформації прямо пропорційно її вбудові: вимірюються інтервали між послідовними несучими пакетами. Кожен інтервал відповідає одному біту, який декодується відповідно до нерівності

$$|(t'_2 - t'_1) \bmod \omega - b_0| \leq \omega / 8,$$

де t'_2 - момент приходу останнього несучого пакету, t'_1 - момент приходу передостаннього несучого пакету, ω - величина часового вікна (20 мс), b_0 - поточне бітчасове значення для біта 0 або біта 1. Той біт, для якого виконується зазначена нерівність і є результат декодування. Якщо воно не виконується ні для одного з них, то біт вважається загубленим. Саме значення b_0 обчислюється на основі результату роботи синхронізованого з відправником ГПВЧ.

Кількість повторних відправок не фіксоване, а визначається підтвердженням доставки з боку отримувача повідомлення. Підтвердження доставки приходить від отримувача повідомлення теж у вигляді затримок.

Згідно розробленої моделі, при побудові каналу зв'язку необхідно враховувати наступне:

- використовувати стабільне підключення до найближчого мережевого шлюзу;
- використовувати захищені канали обміну даними для передачі поділяемого секрету;
- використовувати криптостійкий генератор ПВП;
- проводити аналіз мережі на придатність до вбудови затримок та обирати розмір часового вікна, згідно з проведеним аналізом.

Список літератури

1. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневикий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.;
2. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – 4-е изд. / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 943 с.;
3. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка: пер. с англ. / В. Пleshаков. – СПб.: ДиаСофтЮП, 2002. – 512 с.;
4. Горбенко І.Д. Теоретичні основи побудови криптографічних систем абсолютної стійкості / О.А. Замула // Системи обробки інформації.- Х.: ХУПС, 2013.-Вип. 4 (111). – С. 101-105;
5. R. A. Wagner, M. J. Fischer. The string to-string correction problem. J. ACM 21 1 (1974). – P. 168–173;
6. Замула О.А. Аналіз і обґрунтування критеріїв і показників ефективності криптографічних генераторів псевдовипадкових чисел / О.А. Замула, Д.О. Семченко, Ю.В. Земляк // Системи обробки інформації. – 2014. – № 4 (120). – С. 131-136;
7. Замула А.А. Генераторы псевдослучайных чисел, основанные на дискретном логарифме / А.А. Замула, Д.А. Семченко // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – № 5/1 (13). – С. 28 – 31;
8. Замула А.А. Методы генерации псевдослучайных последовательностей и оценка их свойств / А.А. Замула, Д.А. Семченко // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. – № 2 (11). – С. 191-194.

Надійшла до редколегії 3.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ЗАЩИЩЕННОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ НЕФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВА СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ

Д.А. Семченко, А.А. Замула

Представлена модель защищенного канала связи, которая основана на управлении нефункциональными свойствами сетевых пакетов. Приведены минимально-допустимые требования относительно использования разработанной модели, а так же структура модели и каждого ее компонента. Указаны особенности разработанной модели и сформулированы предложения по использованию модели в современных телекоммуникационных системах.

Ключевые слова: модель, сообщение, канал связи, временные задержки, пакет данных, битвременные значения.

DEVELOPMENT AND USAGE MODELS FOR PROTECTED COMMUNICATION CHANNEL BASED ON THE NON-FUNCTIONAL NETWORK PACKETS PROPERTIES

D.A. Semchenko, A.A. Zamula

Presented model of a secure communication channel, which builds on the management of non-functional properties of network packets. Also presented the minimally acceptable requirements for the usage of the developed model, structure of the model and each of its components. Listed features of the developed model and formed proposals for the usage of this model in modern telecommunication systems.

Keywords: model, message, time delay, data package, bit values.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аль-Джанабі Акіл		Кушнерук Ю.І.	70	Сокіріна В.О.	3
Бахр Тархан	47	Лада Н.В.	73	Сотніков О.М.	66
Аль-Судані Мустафа		Ламі Діа Джухі		Твердохліб М.Г.	134
Кахтан Абдулмунем	88	Хуссейн	31	Тимошук О.М.	22
Аль-Тамімі Рахім		Мальцев О.С.	140	Титаренко О.Б.	13
Касім Насер	31	Масич О.С.	123	Тімочко О.О.	13
Бердник П.Г.	8	Машков О.А.	31	Тріщ Р.М.	130
Беркман Л.Н.	52, 55	Миронюк Т.В.	85	Фауре Е.В.	85
Бондарчук С.В.	115	Мирутенко Л.В.	79	Федюнін С.А.	55
Василенко Д.Е.	8	Молодецька К.В.	60	Фролов В.Ф.	19
Вишнівський В.В.	52	Мсаллам К.П.	38	Харченко В.С.	88
Волосюк В.К.	22	Нелюба Д.М.	3	Чала О.В.	95
Вонсович М.А.	38	Обідін Д.М.	13, 27	Чаузов О.М.	100
Гришук Р.В.	60	Омельченко А.В.	119	Черняк О.М.	130
Данилов Ю.О.	13	Панкратова О.С.	143	Чирва Д.П.	103
Діденко Н.В.	130	Печенін В.В.	38	Чумак Н.С.	134
Довженко Н.М.	134	Подорожняк А.О.	119	Шамаєв Ю.П.	119
Єреміна Н.С.	66	Полякова І.О.	127	Шевяков Ю.І.	70
Жук О.Г.	137	Поночовний Ю.Л.	88	Штих І.А.	106
Замула О.А.	147	Рудий А.В.	44	Шувалова Л.А.	47
Калашник М.А.	27	Самсонов Ю.В.	66	Шульга О.В.	3
Кононов В.Б.	70	Семченко Д.О.	147	Шульгін С.С.	109
Косенко В.Р.	31	Серих С.О.	55	Щербіна К.О.	38
Кравцов О.С.	119	Сисоєнко С.В.	85	Яковлев М.Ю.	44

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (36)

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. Льїна*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 15,0. Тираж 150 прим. Зам. 1216-15

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