

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

СИСТЕМИ управління, навігації і зв'язку

Control, navigation and communication systems

Випуск 1 (63)

Issue 1 (63)

Щоквартальне видання

Засноване у 2007 році

У журналі відображені результати наукових досліджень з розробки та удосконалення систем управління, навігації та зв'язку у різних проблемних галузях.

Засновник і видавець:

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

Телефон:

+38 (050) 302-20-71

E-mail редколегії:

kuchuk_nina@ukr.net

Інформаційний сайт:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

Quarterly

Founded in 2007

Journal represent the research results on the development and improvement of control, navigation and communication systems in various areas

Founder and publisher:

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

Phone:

+38 (050) 302-20-71

E-mail of the editorial board:

kuchuk_nina @ukr.net

Information site:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

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

*Журнал індексується міжнародними наукометричними базами: Index Copernicus (ICV = 81.37),
General Impact Factor, Google Scholar, Academic Resource Index, Scientific Indexed Service*

Затверджений до друку Вченою Радою Національного університету

“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (протокол від 25 лютого 2021 року № 2).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24464-14404 від 27.03.2020 р.

Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії” до категорії Б – наказами МОН України від 17.03.2020 № 409 та від 09.02.2021 № 157

Полтава • 2021

Редакційна колегія

Головний редактор:

КОСЕНКО Віктор Васильович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*).

Заступники головного редактора:

НЕСТЕРЕНКО Катерина Сергіївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*).
ШЕФЕР Олександр Віталійович
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*).

Члени редакційної колегії:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Ізраїль*)
БОГОМ'Я Володимир Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)
ВАРБАНЕЦЬ Роман Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Одеса, Україна*)
ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф
(*д-р техн. наук, проф., Польща*)
ГАВРИЛКО Євген Володимирович
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)
ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли
(*д-р наук, проф., Баку, Азербайджан*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)
ДАКІ Олена Анатоліївна
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*)
КАСАТКІНА Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КОРОБКО Богдан Олегович
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*)
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович
(*д-р техн. наук, проф., Німеччина*)
ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*)
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)
ПОДКОПАЄВ Сергій Вікторович
(*д-р техн. наук, проф., Покровськ, Україна*)
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*).
СТАНКУНАС Йонас
(*д-р техн. наук, проф., Вільнюс, Литва*);
ТИМОЧКО Олександр Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*)
ТИМОЦЬУК Олена Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)
ТРИСТАН Андрій Вікторович
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*)
ФРОЛОВ Євгеній Андрійович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*)
ЧОРНИЙ Олексій Петрович
(*д-р техн. наук, проф., Кременчук, Україна*)

Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*).

Технічний секретар:

ПЕТРОВСЬКА Інна Юріївна
(*магістр комп. інж., Харків, Україна*).

Editorial board

Editor-in-Chief:

Viktor KOSENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*).

Associates editor:

Katerina NESTERENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*).
Oleksandr SHEFER
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).

Editorial board members:

Nathan BLAUNSTEIN
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Israel*);
Volodymyr BOHOMYA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Roman VARBANETS
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Odesa, Ukraine*);
Krzysztof WESOŁOWSKI
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poland*);
Yevhen HAVRILKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Elshan Giyas oglu HASHIMOV
(*Dr. Sc., Prof., Baku, Azerbaijan*);
Valentyn GLYVA
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Olena Daki
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Izmail, Ukraine*);
Natalia KASATKINA
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Andrii KOVALENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Bohdan KOROBKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).
Viktor KRASNOBAYEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Heorhii KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Andriy LUNTOVSKYY
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);
Natalia LUKOVA-CHUIKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);
Maksim PAVLENKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).
Oleksii Pysarchuk
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);
Serhii PODKOPAIEV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Pokrovsk, Ukraine*).
Serhii SEMENOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).
Jonas STONKUNAS
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania*);
Oleksandr TYMOCHKO
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).
Olena TYMOSHCHUK,
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*).
Andrii TRYSTAN
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).
Yevhen FROLOV
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).
Oleksii CHORNYI
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kremenchuk, Ukraine*).

Responsible secretary:

Nina KUCHUK
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).

Technical secretary:

Inna PETROVSKA
(*MSD of Comp. Eng., Kharkiv, Ukraine*).

З М І С Т

НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Андрєєв С. М., Жилін В. А.</i> Застосування технологій геоінформаційних систем для побудови картографічних моделей залізничних сполучень	4
<i>Бутко І. М.</i> Формалізація технології використання геопросторових інформаційних структур в системах обробки геопросторової інформації	17

АВІАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Заволодько Г. Е., Павлова Д. Б.</i> Міжетапна оптимізація обробки даних оглядових радіолокаційних систем спостереження повітряного простору	23
<i>Сєдаш С. П.</i> Метод формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах	27

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Бориц В. В., Вервейко О. І., Аркушенко П. Л., Флорін О. П.</i> Особливості допуску засобів вимірювальної техніки з програмним забезпеченням до випробувань озброєння та військової техніки	31
<i>Волочий Б. Ю., Якубенко В. М., Сальник Ю. П., Змисний М. М.</i> Дослідження впливу старіння модулів ядра відмовостійкої системи мажоритарного типу на значення показників її надійності	36
<i>Казіміров О. О., Власов К. В., Онпиченко П. М., Костенко І. Л.</i> Орієнтування сонячних панелей системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління	45
<i>Леві Л. І., Зима О. Є.</i> Сучасні інтелектуальні методи моделювання складних технологічних об'єктів	49
<i>Мошаренков В. В.</i> Принцип побудови відомчих еталонів трифазної напруги	54
<i>Носков В. І., Мезенцев М. В., Гавриленко С. Ю., Гейко Г. В.</i> Контроль і діагностика стану тягового електропривода	58
<i>Шпак С. В., Кожушко Г. М., Кислиця С. Г., Багіров С.</i> Дискомфортна та засліплювальна блискавість світлодіодних ламп та світильників	62

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Денисенко О. В., Коваленко А. П., Пашкевич С. М.</i> Визначення ефективності розподілу транспортних потоків на підходах до регульованих перехресть	67
---	----

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Азаренков В. І., Федорищева В. О.</i> Дослідження можливостей автоматизації розробки шаблонів документів в середовищі LATEX	71
<i>Васюта К. С., Чопенко Д. А., Гармаш Н. В.</i> Метод синтезу варіантів рішень у відкритій експертній системі пункту управління повітряних сил з урахуванням ресурсно-часових обмежень	74
<i>Golovko G., Matiasenko A., Solopihin N.</i> Data encryption using XOR cipher	81
<i>Dmytrenko T., Derkach T., Dmytrenko A., Klochko L.</i> The information system development for managing the building structures department	84
<i>Коваленко А. А., Кучук Г. А., Ткачов В. М.</i> Метод забезпечення живучості комп'ютерної мережі на основі VPN-тунелювання	90
<i>Krasnobayev V., Koshman S., Kovalchuk D.</i> Synthesis of structure of the adder by module	96
<i>Підгорний М. В., Вертюк С. М.</i> Системний підхід до управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології	100
<i>Поворознюк А. І., Поворознюк О. А., Шехна Х.</i> Синтез комбінованого діагностичного вирішального правила в медичних системах підтримки прийняття рішень	103
<i>Руденко О. А., Шефер О. В., Поночовний Ю. Л.</i> Алгоритм визначення кількості вторинних дефектів програмних засобів шляхом коригування коефіцієнтів апроксимуючого полінома другого степеня	107
<i>Skakalina E.</i> Intellectual control of logistic processes using genetic algorithms	111
<i>Чалий С. Ф., Лециньський В. О., Лециньська І. О.</i> Узгодження пояснення в інтелектуальній інформаційній системі з базовими знаннями щодо предметної області	115
<i>Янко А. С., Звєздін В. М.</i> Розробка методів та алгоритмів стиснення інформаційних даних табличних структур ..	120

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Глива В. А., Кацперський В. Є., Панова О. В., Бірук Я. І., Зозуля С. В.</i> Методологічний підхід до оцінювання ризиків впливу фізичних факторів техногенного походження в умовах невизначеності	123
<i>Дичко С. О., Назаренко В. І.</i> Використання математичного апарату дослідження операцій для визначення оптимальної структури сил для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації у загоні Держприкордонслужби України ..	126
<i>Коваль В. В., Левіщенко Є. В.</i> Цільова функція системи моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах	130
<i>Лопін П. В., Кацман М. Д.</i> Використання безпілотних літальних апаратів для охорони вантажів і об'єктів на залізничному транспорті	134
<i>Мікосянчик О. О., Халмурадов Б. Д., Кічата Н. М., Набільська А. І.</i> Організаційні аспекти застосування авіаційних сил для гасіння лісової пожежі	138

ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Іохов О. Ю., Майборода І. М., Лазарев В. Д., Оленченко В. Т.</i> Метод формування оцінки рівня технічного забезпечення Національної гвардії України засобами зв'язку та інформатизації	142
<i>Карлов В. Д., Кузнецов О. Л., Белоусов В. В., Тузіков С. А., Олейчук М. М., Петрушенко В. М.</i> Точність вимірювання кутових координат аеродинамічних об'єктів в умовах тропосферної рефракції	146
<i>Можаєв М. О.</i> Удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації	153

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	158
----------------------------------	-----

Навігація та геоінформаційні системи

УДК 528.855

doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.004

С. М. Андрєєв, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ СПОЛУЧЕНЬ

Анотація. Предметом дослідження є методика побудови картографічних моделей залізничних сполучень із використанням технологій геоінформаційних систем (ГІС). **Об'єктом дослідження** є процес створення цифрових моделей інфраструктури залізниці для оптимального вирішення транспортних задач і забезпечення у режимі реального часу моніторингу рухомого й нерухомого майна залізниці та ефективного використання енергоносіїв. **Метою роботи** є підвищення інформативності моніторингу залізничної інфраструктури України за рахунок використання геоінформаційних технологій. **Висновки.** На підставі аналізу історичного розвитку та сучасного стану залізничної інфраструктури України показано, що одним з важливих елементів реформування і удосконалення залізничного транспорту в сучасних умовах є перехід до комплексних інформаційно-управляючих технологій з використанням засобів супутникової навігації. Обґрунтовано необхідність напрацювання єдиних технічних вимог і вибору платформи для створення на базі технологій ГІС нових картографічних моделей залізничних сполучень України, адже електронна картографічна модель залізниць, побудована з використанням технологій ГІС, допомагає вирішувати не лише задачі ефективного управління перевізним процесом, а й задачі контролю використання рухомого й нерухомого залізничного майна та всієї галузевої інфраструктури. Виконано усебічний аналіз картографічного методу дослідження залізничних транспортних мереж, а саме, підходи до вивчення і напрямки досліджень в аспектах забезпеченості територій транспортною мережею і досліджень структури транспортних мереж. Окрему увагу приділено проблемним питанням використання карт в дослідженнях транспортних мереж. Ретельно розглянуто картографічний метод на різних стадіях дослідницького процесу, а також класифікації карт транспорту, зокрема, за масштабом, територіальним охопленням і тематикою. Розглянуто особливості застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для залізничної інфраструктури, отримано висновок про необхідність комплексного застосування усіх доступних інформаційних джерел для побудови картографічних моделей залізничних сполучень на основі технологій ГІС. Запропоновано структуру ГІС-моніторингу залізниці, яка на основі даних ДЗЗ, застосування сучасних баз даних, пошуку та обрання інфраструктурної інформації забезпечує побудову картографічних моделей і отримання актуальних карт поточного стану залізничних сполучень держави.

Ключові слова: моніторинг залізничної інфраструктури України, геоінформаційні системи, картографічні моделі залізничних сполучень.

Вступ

Одним із важливих елементів реформування залізничного транспорту в сучасному світі є перехід до впровадження комплексних інформаційно-керуючих технологій. На Українських залізницях частково вже впроваджені інформаційні системи, тепер постає актуальна задача їх синхронізації, поєднання та прив'язки до географічних даних.

Реалізувати побудову електронних картографічних моделей залізничних сполучень можна і доцільно із застосуванням технологій геоінформаційних систем (ГІС). Такі електронні картографічні моделі здатні не лише накопичувати та зберігати дані про залізницю, а й аналізувати їх. Також забезпечується оперативна візуалізація певних частин залізничної інфраструктури, що цікавлять.

Така електронна картографічна модель може вирішувати кілька завдань одночасно. У першу чергу, концентрувати й аналізувати детальну інформацію про рухоме й нерухоме майно залізниці, що є необхідними вихідними даними для аудиту задля підтримання дієздатності та безпеки залізничних сполучень держави.

Отже, зазначена картографічна модель по суті є геоінформаційною системою. За допомогою такої інформаційної системи можна прорахувати не лише найкоротший шлях слідування вантажу, а й найдешевший маршрут.

Така модель «бачить» переміщення об'єкта або кількох об'єктів у режимі реального часу, будь-яке відхилення від графіка та ефективність використання енергоносіїв.

Між іншим, це дозволяє на порядок підняти якість надання залізничних послуг. Наприклад, вантажовласники зможуть контролювати всі етапи транспортних операцій зі своїм майном. У такий спосіб зручно відслідковувати й проходження залізницями потенційно небезпечних вантажів.

Найважливіше, що заявлена на основі технологій ГІС картографічна модель залізничних сполучень є хорошим помічником і для працівників колійного господарства, адже дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану інфраструктури залізниць: за допомогою аерокосмічного обладнання проводиться діагностика залізничного полотна і визначаються всі потенційно небезпечні зони з огляду на природно-технологічні процеси.

Аналіз сучасного стану залізничної інфраструктури України і можливостей ГІС в процесі її моніторингу

Вперше у світі залізниці з'явилися на початку XIX століття у зв'язку з розвитком промисловості. 27 вересня 1825 року в Англії був відкритий рух на першій залізниці загального користування на лінії Стоктон-Дарлінгтон довжиною 56 км. У 1832 році у Франції з'явилася перша залізниця між Ліоном і Сент-Ет'єном довжиною 58 км., а в 1837 році — у Росії (Петербург – Царське Село – Павлівськ).

Передумовами необхідності будівництва залізниць на Україні стали передусім географічне положення краю та його природні багатства. Україні потрібні були залізниці для вивозу продукції сільськогосподарства головним чином з родючого Південно-Західного краю і продукції промисловості — з районів Донбасу і Кривого Рога. Після поразки в Кримській війні царський уряд усвідомив необхідність з'єднання центра країни з портами на Чорному та Азовському морях і з західними кордонами, виходячи зі стратегічних міркувань. Відповідно до цього на Україні виникло три основних осередки будівництва залізниць: Південно-Західний край, в районі якого поступово виникала мережа Південно-Західних залізниць; промисловий район Донбасу і Кривого Рога, в якому виникли Донецька і Катерининська залізниці; для зв'язку центра з морем і з промисловими районами України будувалася мережа Південних залізниць. Після будівництва лінії Курськ — Харків — Азовська почали будувати залізниці спеціально для вивозу вугілля з Донбасу. Першою такою залізницею була магістраль Костян-

тинівка — Єленівка, яка стала до ладу у 1872 р. Вона й послужила початком розвитку мережі майбутніх Донецьких залізниць. Першою була лінія Нижнедніпровськ — Долинська. У 1904—1906 рр. була побудована так звана Друга Катерининська залізниця (яка об'єдналася потім з Першою) по напрямку Долгінцево — Волноваха.

У середньому на 1 км експлуатаційної довжини залізниці приходилося 22.2 млн. т./км. і 3.2 млн. пасажиро-кілометрів. Сучасний залізничний транспорт на 40% електрифікований, двох і багатокіліні ділянки складають майже третину експлуатаційної довжини. Історична картографічна схема будівництва залізниць України представлена на рис. 1.

Треба відмітити, що за останні роки інфраструктура залізниць нашої держави дуже змінилася. В першу чергу це пов'язано з геополітичною ситуацією в нашій державі. Тому логічно приділити увагу тому, як саме змінилася інфраструктура залізничного транспорту України за останні роки. Структуру залізниць України станом на 2013 рік представлено на рис. 2.

Одним з важливих елементів реформування залізничного транспорту в сучасному світі є перехід до комплексних інформаційно-управляючих технологій з використанням засобів супутникової навігації. Зокрема, система глобального позиціонування (GPS) допомагає вирішувати не лише задачі ефективного управління перевізним процесом, а й задачі контролю за використанням залізничного майна та всієї галузевої інфраструктури. На Українських залізницях частково вже впроваджені інформаційні системи, тепер обговорюються можливості їх синхронізації, поєднання і прив'язки до географічних даних.



Рис. 1. Історична картографічна схема будівництва залізниць України

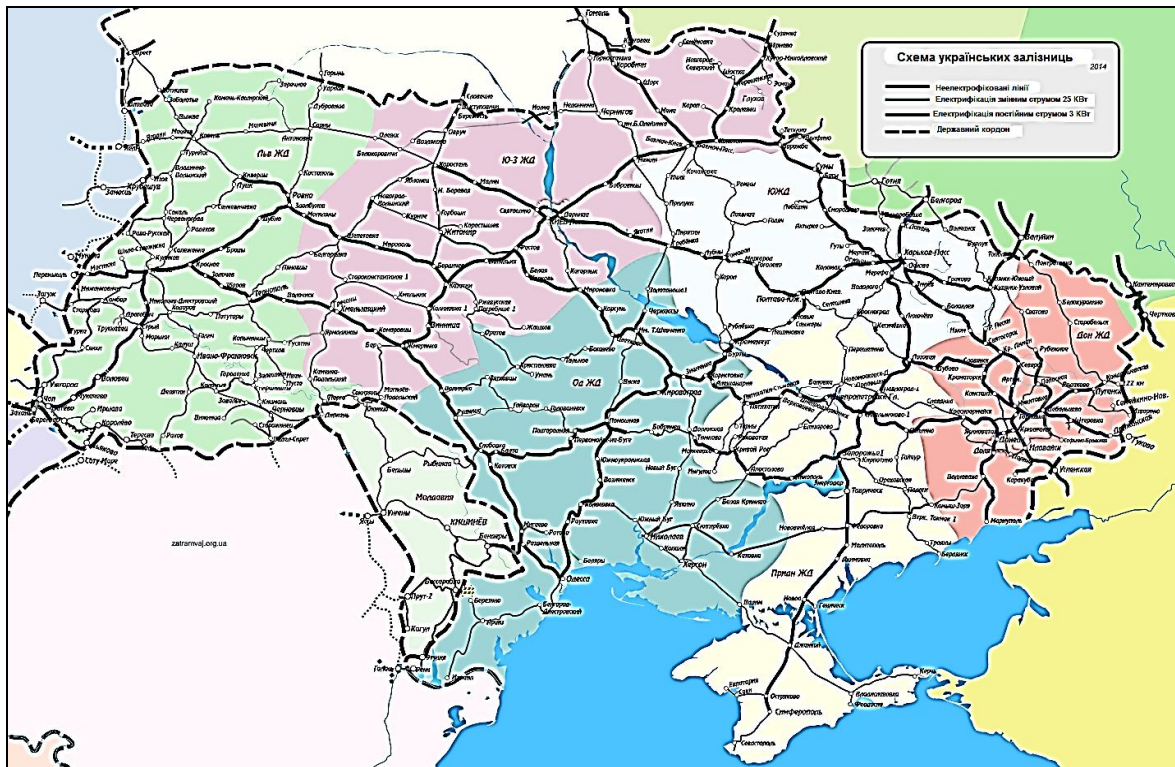


Рис. 2. Залізниця України станом на 2013 рік

Електронна картографічна модель залізниць, побудована з використанням технологій ГІС, здатна концентрувати детальну інформацію про рухоме й нерухоме майно. Залежно від того, наскільки деталізованою буде інформація, введена до такої моделі, спеціалісти швидко діставатимуть дані про місце розташування об'єкта, його технічні характеристики, прив'язку до загальної бази даних майна, кадастру тощо. Можна буде бачити, скільки людей працює на певному підприємстві залізниці, які території задіяні у виробничому процесі, а які, припустимо, здаються в оренду.

Територіальні сусіди України використовують ГІС як невід'ємний елемент транспортної логістики. За допомогою такої інформаційної системи можна вирішувати будь-які транспортні задачі.

В Укрзалізниці впровадження геоінформаційних систем започатковано з 2003 р. Саме тоді була затверджена «Концепція застосування геоінформаційних систем на залізничному транспорті України». У 2007 році була прийнята «Концепція інформаційно-аналітичної системи «Інфраструктура залізниць». На сьогодні GPS в Укрзалізниці застосовують у багатьох автоматизованих системах (АС). Відомі широкому загалу працівників локомотивного господарства АС «Дельта-СУ» та «БІС-Р» взяли під контроль витрати пально-мастильних матеріалів. Майже 700 локомотивів наразі підключені до АС й обладнані GPS-приймачами та модулями мобільного зв'язку GSM/GPRS. Автоматизована система також дозволяє контролювати місцезнаходження локомотива в режимі реального часу та його технічний стан.

Подібні функції виконує й АСУ «Навігація та управління», яка нині експлуатується на дослідному полігоні Південної залізниці. В колійному господар-

стві найближчим часом буде застосоване обладнання з GPS-приймачами та модулями мобільного зв'язку, якими планують оснастити 1,2 тис. рейкових дефектоскопів.

Загалом Укрзалізниця має значну кількість автоматизованих систем, але вони в основному автономні й не мають спроможності до обміну інформацією. Тож спільно з Головним управлінням інформаційних технологій авторами зібрано пропозиції від різних главків Укрзалізниці щодо напрацювання єдиних технічних вимог і вибору платформи для створення на базі технологій ГІС нових картографічних моделей залізничних сполучень України.

Картографічний метод дослідження залізничних транспортних мереж

Термін «транспорт» широко увійшов в мови різних народів і походить від латинського «transporto», що означає «переносу, перекладаю, переміщую». В цьому слові відображена головна суть транспорту — переміщення в просторі вантажів і людей (пасажирів). Для картографічного дослідження транспортних мереж інтерес представляють такі аспекти цього терміна:

- галузь народного господарства, яка має своїм призначенням перевезення вантажів і пасажирів;
- комплекс технічних засобів, що забезпечують пересування матеріальної продукції і людей.

Перше аспекту відображає соціально-економічні особливості транспорту, а другий характеризує його з технічної точки зору.

Залізничний транспорт — вид транспорту, що здійснює перевезення вантажів і пасажирів по рейкових шляхах за допомогою механічної тяги. У сучасному розумінні терміни «залізничний транспорт»

та «залізниця дорога» практично є синонімами. У складі залізничного транспорту до недавнього часу виділялося дві підсистеми: залізничний транспорт загального та не загального користування.

Залізничний транспорт загального користування здійснює комерційні перевезення вантажів і пасажирів на умовах публічного договору, обслуговує всі галузі економіки і верстви населення, керуючись загальними для всієї мережі правилами перевезень.

Залізничний транспорт не загального користування, здійснює, як правило, переміщення вантажів у процесі виробництва і перевезення працівників на території підприємств, а також забезпечує взаємодію із залізничним транспортом загального користування.

Залізничний транспорт (як і будь-який інший вид транспорту) виконує свою функцію за допомогою комплексу технічних засобів, прямо або побічно бере участь в перевізному процесі, і включає: а) постійні засоби (власне залізничну колію, а також стаціонарні споруди з усім їх обладнанням) і б) рухомий склад.

Сукупність постійних засобів, що забезпечують рух поїздів за певним напрямком залізниці, називають залізничною лінією; залізничні лінії разом зі станціями утворюють залізничну мережу. Однак, необхідно детально розглядати термін «транспорт» в контексті загального поняття, що визначається як «транспортна мережа» (синонім — «мережа шляхів сполучення»), складовою якої і є залізнична мережа (рис. 3).

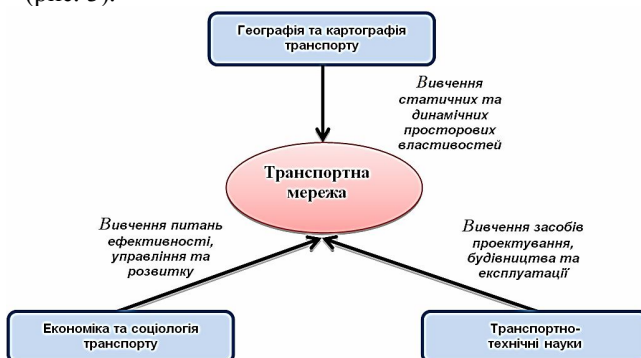


Рис. 3. Транспортна мережа як об'єкт вивчення

З технічної точки зору термін «транспорт» трактується як сукупність всіх шляхів сполучення, що зв'язують населені пункти країни або окремого регіону. А в економічних додатках теорії графів, що є одним з розділів дискретної математики, під транспортною мережею мається на увазі граф без петель, якщо в ньому можна виділити початкову точку або джерело, з якої дуги тільки виходять, і кінцеву точку або стік, в яку дуги тільки входять, і кожній дузі графа відповідає ціле число (що більше або дорівнює нулю), яке називається пропускною здатністю дуги.

У першому варіанті дається визначення транспортної мережі як реального об'єкта дійсності, в другому — наводиться гранично формалізований опис мережі як математичної моделі, призначеної для транспортно-економічних розрахунків.

Існує також варіант сприйняття зазначеного терміну, який використовується геомережевим аналізом, відповідно до якого транспортна мережа являє сукупність пунктів з відомим географічним місцем розташування, які за допомогою деякої кількості маршрутів пов'язані між собою в мережу. Тут також опис транспортної мережі формалізовано, однак не є настільки абстрактним, а також загостреним на вирішення завдань перевізного процесу, як попередній. Таке трактування терміна є більш «географічним».

Термін «картографічний метод дослідження» має два основних тлумачення. Згідно найбільш відомим визначенням картографічний метод дослідження є методом наукового дослідження, заснованим на використанні карти як моделі досліджуваного об'єкта і проміжною ланкою між об'єктом і дослідником. Дане визначення знаходиться в рамках модельно-пізнавальної концепції, що розглядає картографію як науку про пізнання дійсності за допомогою картографічного моделювання.

Таким чином, вважаємо за доцільне сприймати таке визначення: картографічний метод дослідження — метод наукового дослідження, заснований на застосуванні карт, для вирішення завдань в різних областях знання за допомогою системи методичних прийомів, адаптованих до просторово розподілених особливостей досліджуваного об'єкта.

Вказівка на приналежність картографічного методу до методів наукового дослідження у визначенні терміна не означає, що окремі прийоми картографічного методу дослідження не можуть застосовуватися в сферах людської діяльності, відмінних від наукової — в побуті, технічному проектуванні тощо. Однак, тільки застосування картографічного методу в науковій сфері дозволяє розкрити всі закладені в ньому можливості і отримати не просто необхідну інформацію, а й нове знання в картографуванні області дослідження.

У використанні карт в інтересах транспорту також слід розрізняти кілька видів їх застосування. Наукове застосування карти, перш за все, мають в економіко-географічних дослідженнях транспорту для цілей оптимальної організації його експлуатації, дослідження питань формування і розвитку транспортних систем. Практичне застосування карт полягає в їх використанні для орієнтації і визначенні оптимальних напрямів пересувань транспортних засобів; технічне застосування — при вишукуванні доріг і споруд.

На підставі вищевикладеного має сенс використовувати таке визначення: картографічний метод дослідження в транспортній сфері — це застосування карт для вирішення завдань географії транспорту за допомогою системи методичних прийомів, адаптованих до особливостей досліджуваного транспортного об'єкта. Складність транспортної мережі в географічних дослідженнях визначає різноманітність використовуваних підходів і напрямків. Це, в свою чергу, вимагає проведення систематизації проведених наукових робіт та вивчення в кожному з напрямків ролі картографічного методу.

Кarti (картографічні моделі) не адекватні навколишній дійсності. Саме ця обставина є однією з

причин, що викликає необхідність комплексування картографічного методу з іншими спеціальними методами досліджень. Основні методи, що застосовуються в транспортно-географічних дослідженнях, такі: історичний, порівняльно-описовий, статистичний, економічного районування, картографічний, системного підходу, математичного аналізу. В залежності від завдань дослідження використовується різна субординація названих методів, але в переважній більшості не можна обійтися без районування, картографування і системного підходу.

Застосовуючи ідею геомережного аналізу, що дозволяє використовувати єдину методологію вивчення для мереж різних видів наземного транспорту і всіх ієрархічних рівнів його територіальної організації, існує два основних підходи для дослідження транспортних мереж: а) аналіз структури мережі і б) вивчення її густоти (щільності). У першому випадку досліджуються конфігурації, які утворюють мережу ліній, їх взаємозв'язки і залежність від зовнішніх сил, що впливають на мережу, в другому — загальна картина розміщення мережі на деякій території.

Вивчення густоти мереж становить інтерес не менший, ніж аналіз їх структури. Отже, другий підхід більш правильно називати вивченням забезпеченості території транспортною мережею. Це пояснюється тим, що поряд з обчисленням відносних показників щільності часто використовуються також і інші способи аналізу, які спираються на картографічний метод дослідження, що передбачають як визначення транспортної доступності, так і виділення зон різного ступеня транспортної освоєності шляхом комплексного районування.

Підходи до вивчення транспортних мереж і відповідні їм напрямки досліджень відображено у вигляді структурної схеми на рис. 4.

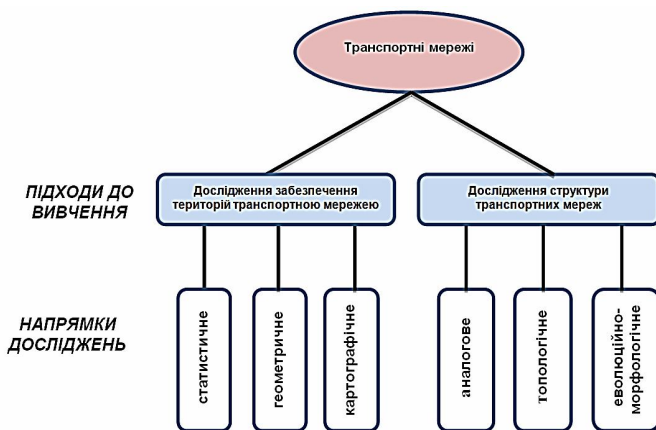


Рис. 4. Підходи до вивчення транспортних мереж і відповідні їм напрямки досліджень

Дослідження забезпеченості територій транспортною мережею. У вивченні питань забезпеченості територій транспортною мережею виділені такі напрямки дослідження:

– статистичне — засноване на обчисленні показників густоти мережі по адміністративно-територіальних одиницях з використанням статистичних даних;

– геометричне — інтерпретація забезпеченості територій транспортною мережею засобами елементарної геометрії;

– картографічне — засноване на використанні різноманітних прийомів картографічного методу дослідження.

Статистичний напрямок пройшов шлях від використання найпростіших показників щільності (густоти) мережі, що обчислюються щодо площі території або населення, до застосування комбінованих коефіцієнтів.

Геометричний напрямок — це оригінальний спосіб визначення показника щільності. Було запропоновано інтерпретувати щільність транспортної мережі як геометричну характеристику.

Картографічний напрямок — це графоаналітичний спосіб визначення щільності транспортної мережі, заснований на застосуванні картографічного методу.

Дослідження структури транспортних мереж. В даному підході до дослідження транспортних мереж також виділено декілька напрямків, що відрізняються вибором аспекту вивчення просторових характеристик мережі. На відміну від розглянутих вище питань вивчення забезпеченості територій транспортною мережею, тут кожний подальший напрямок представляє більш високу ступінь абстрагування при моделюванні структури мережі в порівнянні з попереднім:

– аналоговий напрямок вивчення структури транспортних мереж — засноване на зведенні величезної кількості конфігурацій реальних мереж до обмеженого числа аналогових геометричних моделей;

– топологічний напрямок — заснований на моделюванні структури мережі з використанням теорії графів для виявлення базових (топологічних) властивостей мереж, математично описуваних за допомогою певного набору параметрів;

– еволюційно-морфологічний напрямок — заснований на аналізі будови транспортних мереж з урахуванням еволюційного підходу, який передбачає їх просторовий саморозвиток.

Аналоговий напрямок дослідження транспортних мереж передбачає використання інтегрального числення для знаходження ліній розділу контурів і є надзвичайно трудомістким.

Топологічний напрямок дослідження транспортних мереж є відносно молодим, незважаючи на те, що вперше принципи теорії графів були застосовані для вирішення відомої проблеми Кенігсберзьких мостів, яка, по суті, є завданням транспортної тематики.

Еволюційно-морфологічний напрямок вивчає загальні закономірності формування конфігурацій транспортних мереж.

Проблемні питання використання карт в дослідженнях транспортних мереж

Картографічний метод на різних стадіях дослідницького процесу. Отже, для вивчення транспортних мереж використовується досить велика кількість різноманітних наукових методик, в яких (за винятком геометричного напрямку в дослі-

дженні забезпеченості території транспортною мережею) в тій чи іншій мірі застосовується картографічний метод. Його розвиток в контексті

формування картографічної науки та еволюції методології географії умовно можна розбити на три періоди (табл. 1).

Таблиця 1 – Періодизація розвитку картографічного методу в дослідженнях транспортних мереж

Період	Роки	Особливості розвитку
I	1841 – 1900	Поодинокі випадки застосування картографічного методу, слабо пов'язані з теорією картографії, що знаходилася в ту пору в стадії становлення (І. Коль, Ф.Г. Ган, Л. Лаланн). Вивчення транспортних мереж, до того ж, не набуло великого поширення через відсутність методологічної бази; географія транспорту не оформлена як самостійна географічна дисципліна.
II	1900 – 1960	Початок широкого застосування карт в дослідженнях транспортних мереж, що спирається на фундаментальні теоретичні праці в області картографії (М. Еккерт, А.І. Преображенський, М.М. Баранський та ін.). У вивченні транспортних мереж переважає методологія класичної (класифікаційної) географії.
III	1960 – по теперішній час	Використання карт в транспортних дослідженнях засноване на роботах, присвячених картографічному методу дослідження (К.А. Салішев, А.М. Берлянт, А. Робінсон та ін.), який був оформлений як самостійний розділ картографії. Так, наприклад, «математична революція» в географії на рубежі 1950-1960-х рр., з одного боку, і активне впровадження ЕОМ, з іншого, привели до збільшення ролі математичних прийомів у картографічному методі дослідження, які остаточно в ньому затвердилися після виникнення геоінформаційних систем.

Карти у вивченні транспортних мереж беруть участь не тільки в основній частині дослідження, але й для отримання вихідної інформації, а також як засіб відображення результатів. В нинішніх дослідженнях, при використанні геоінформаційних технологій, використання карт як джерела вихідних даних і засоби інтерпретації результатів настільки тісно переплітаються, що часто важко розрізнити, де закінчується складання і починається використання та перетворення карти.

Для основних підходи до дослідження транспортних мереж, при яких предметом аналізу є або структура мережі, або її густота, значення карт (а

також ступінь вивченості їх застосування) на різних етапах процесу дослідження неоднакові. У табл. 2 підсумовано значення картографічного методу на різних стадіях процесу дослідження географії транспортних мереж і вказано ступінь вивченості питань використання карт.

Нижче будуть розглянуті питання використання карт в дослідженнях транспортних мереж окремо для первинних (вихідних) і похідних (результуючих) карт. Для полегшення вивчення властивостей і закономірностей, властивих окремим видам карт транспорту, попередньо проаналізовані питання їх класифікації.

Таблиця 2 – Карти основних етапів обстеження транспортних мереж з використанням картографічних моделей

Підходи до вивчення транспортних мереж		Вивчення забезпеченості території транспортною мережею			Дослідження структури транспортних мереж		
		Статистичний напрямок	Картографічний напрямок		Аналоговий та топологічний напрямки	Еволюційно-морфологічний напрямок	
Етапи наукового дослідження	Первинні карти		Вивчення густоти (щільності) мережі	Комплексні дослідження транспортної забезпеченості			
		Підготовка до дослідження (попередній етап)	Вибір картографічних джерел Картометричні роботи (при відсутності статистичних даних)	Вибір картографічних джерел		Вибір картографічних джерел	
		Дослідження транспортних мереж (основна частина)	Розрахунок показників для адміністративних одиниць, що містять необжиті території, виключені з дослідження	а) визначення віддаленості від шляхів сполуч. б) розрахунок щільносних характеристик	Отримання комплексних характеристик при аналізі серії карт	Створення статичних топологічних моделей мережі для розрахунку її показників	Створення динамічних топологічних моделей мережі для розрахунку її показників
Картографічна інтерпретація дослідження (відображення отриманих результатів)	Похідні карти	Картограми щільності транспортної мережі	Ізолінійні карти: а) транспортної доступності; б) густоти мережі	Карти районування	Карты топологічної складності структури мережі «Хронологічні» карти		

Питання класифікації карт транспорту. Відсутність докладної класифікації карт транспорту ускладнює вивчення їх властивостей, а також переваг і недоліків конкретних картографічних творів.

Відомо, що будь-яка наукова класифікація повинна задовольняти ряду логічних вимог:

а) обов'язкова послідовність переходу від загального поняття (наприклад, класу) до приватних

(підкласу, роду і виду), тобто поступовість розчленування широкого поняття на більш вузькі;

б) на кожному ступені класифікації необхідно застосовувати певну підставу розподілу;

в) при розчленуванні широкого поняття на більш вузькі сума останніх повинна дорівнювати обсягу широкого.

Крім цього, дуже важливо, щоб класифікації мали гнучкість і допускали розширення в міру появи нових видів і типів картографічних творів без корінної ломки своєї структури. Останнє зауваження здається вкрай істотним через недостатню вивченість питання про картографічні інтерпретації досліджень структур транспортних мереж, рішення якого не виключає появу нових видів карт.

Карти можуть відрізнятися (класифікуватися) по ряду ознак: масштабам, територіальним охопленням, темам (тобто предмету змісту), призначенням, математичним основам, епосам, мовам тощо. Найбільш істотні перші чотири з названих ознак, що визначають зміст і характер географічних карт.

Треба відзначити обмеженість застосування класифікації карт за призначенням, з огляду на багатоцільове призначення багатьох карт. Використання цієї класифікації практично доцільно лише в окремих ланках для карт, що мають чітко виражене призначення (наприклад, для навчальних і туристських карт) або для внутрішнього підрозділу карт, загальних за

тематикою. Об'єктивні труднощі створення класифікації карт за призначенням призвели до того, що деякими авторами на верхньому ієрархічному рівні класифікації карт за тематикою поряд з загальногеографічними і тематичними картами була виділена окрема група спеціальних карт, до яких, зокрема, були віднесені навігаційні дорожні карти. Таким чином, розглядаємо класифікації карт транспорту за масштабом, територіальним охопленням і тематикою.

Класифікація карт транспорту за масштабом і територіальним охопленням. Об'єднання класифікацій карт за масштабом і територіальним охопленням цілком правомірно. Виходячи з практики застосування геообразень в науках про Землю, доведено зв'язок просторових рівнів дослідження з оптимальними діапазонами масштабів карт. В даному випадку оптимальним є застосування (з деякими змінами і доповненнями) ієрархічних рівнів з виділенням таких рівнів транспортних систем:

- 1) космічний (метарівень);
- 2) планетарний (суперрівень);
- 3) крайній (макрорівень);
- 4) регіональний (мезорівень);
- 5) субрегіональний (мікрорівень).

З урахуванням необхідності уточнення меж рівнів транспортних систем відповідно до накопиченого досвіду транспортного картографування, таблиця класифікації прийме такий вигляд (табл. 3).

Таблиця 3 – Класифікація карт транспорту за територіальним охопленням і масштабом

Рівень транспортних систем	Карти	Охоплення простору, км ²	Масштаби карт
Глобальний (суперрівень)	Карты транспорту в міжнародних сполученнях	Більш 10 ⁷	Дрібніше 1:15 000 000
Крайній (макрорівень)	Карты транспорту окремих країн і міжнародних об'єднань	10 ⁶ – 10 ⁷	1:2 500 000–1:15 000 000
Регіональний (мезорівень)	Карты транспорту економічних районів і адміністративних областей	10 ⁴ – 10 ⁶	1:500 000–1:2 500 000
Субрегіональний (мікрорівень)	Карты транспорту міських агломерацій і великих міст	10 ² – 10 ⁴	1:100 000–1:500 000
Локальний	Карты транспорту окремих населених пунктів і низових ланок мережі шляхів сполучення	10 ⁰ – 10 ²	1:100 000 і крупніше

Класифікація карт транспорту за тематикою. Незважаючи на значну кількість наукових робіт, в яких розглядаються питання змісту карт транспорту, існує лише загальна систематизація. Існують такі основні тематичні групи транспортних карт:

– карти шляхів сполучень, які містять кількісну або якісну оцінку обслугованих території і населення засобами повідомлення;

– карти вантажонапруженості шляхів сполучень або вантажообігу транспортних пунктів (залізничних станцій, портів і пристаней, аеропортів);

– карти пасажиронапруженості шляхів сполучень або вантажообігу транспортних пунктів (залізничних станцій, портів і пристаней, аеропортів);

– карти частоти (інтенсивності) переміщувань рухомого складу (поїздів, суден, літаків, автотранспорту);

– карти ввезення-вивезення продукції або карти товарообміну.

Дана систематизація заснована на методичних вказівках з проектування та складання комплексних науково-довідкових атласів. До даних тематичних груп були додані карти маятникових поїздок, що остаточно порушили стрункість класифікації, яка спочатку мала суто практичний характер і не володіла суворою логікою побудови. Таким чином, для успішного виконання поставлених завдань треба було створити класифікації транспортних карт за тематикою. При її розробці було використано такі принципи:

• відповідність галузевому поділу в географії транспорту;

• відповідність основним предметам вивчення в географії транспорту — транспортним мережам і просторовому розміщенню потоків вантажів і пасажирів;

• відповідність наявним підходам до вивчення транспортних мереж і потоків;

• відповідність суті відображуваних об'єктів і явищ.

Отже, класифікація складається з двох частин і представлена на рис. 5, 6. На верхніх щаблях класифікації карти транспорту систематизовані за галузевою ознакою (рис. 5).

Виділено галузеві карти (тобто карти, що відображають один вид транспорту і загальнотранспортні карти, на яких представлено кілька видів транспорту). На нижніх щаблях класифікації вказано тільки елементи, присвячені картам залізничного транспорту (рис. 6).

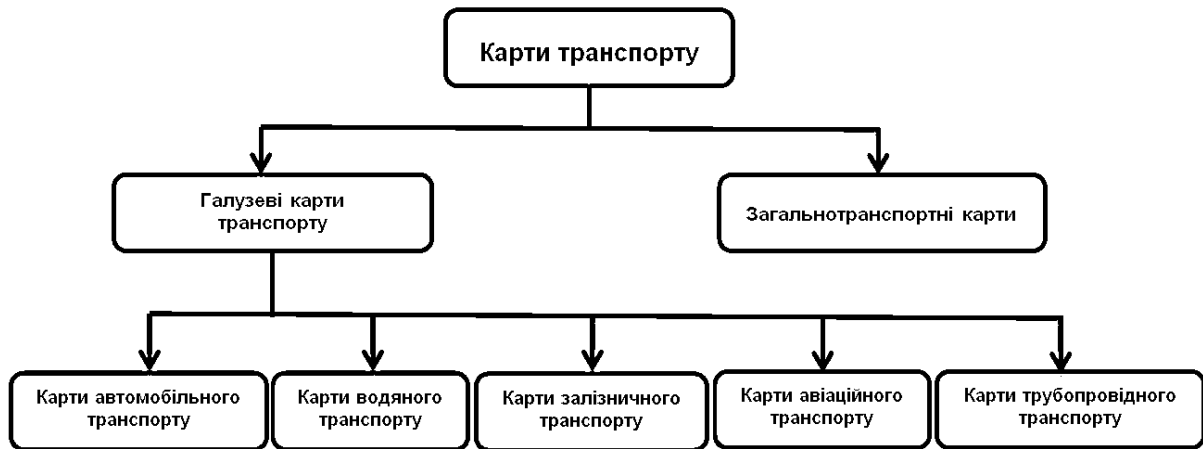


Рис. 5. Класифікація карт транспорту за галузевою ознакою

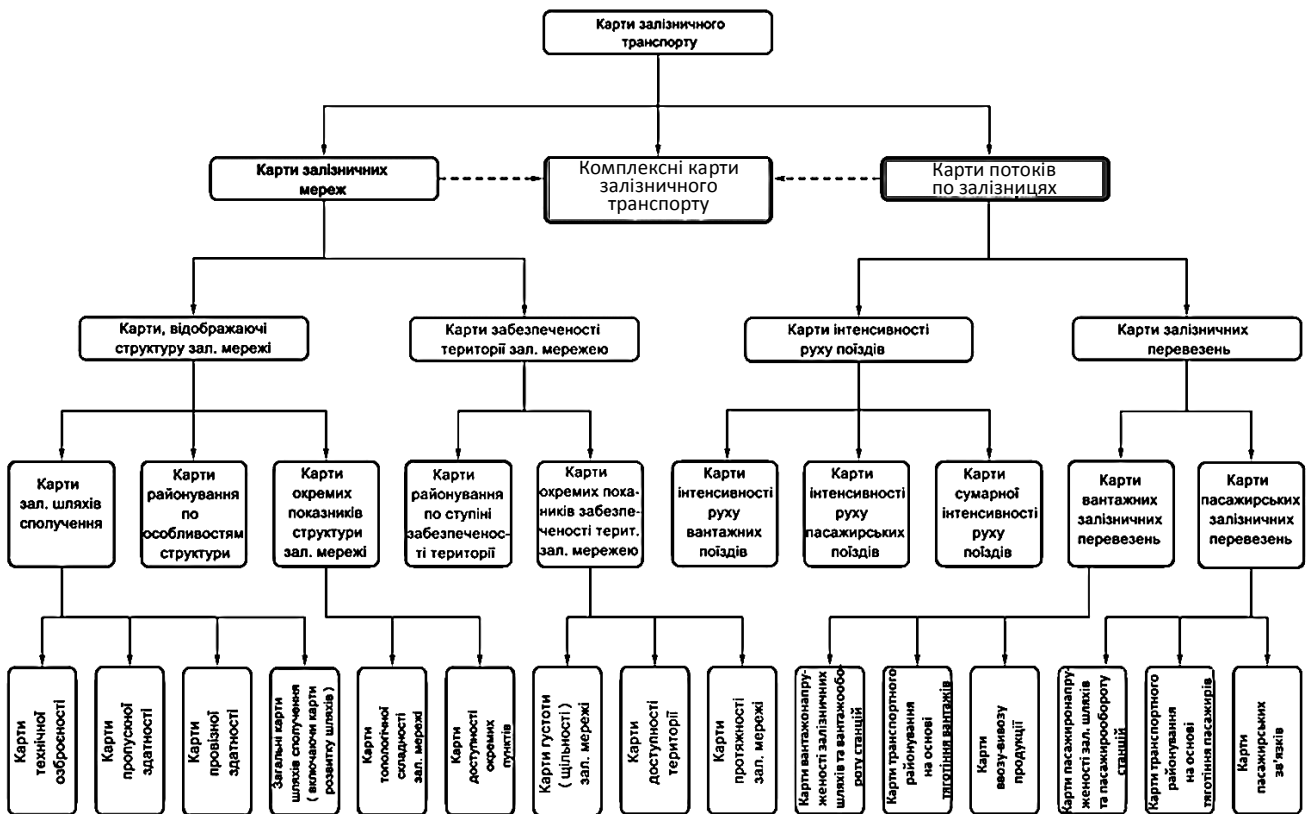


Рис. 6. Класифікація карт залізничного транспорту

Карт кожного виду транспорту підрозділяються на карти транспортних мереж і карти перевезень (транспортних потоків). Існують також комплексні карти транспорту, тобто карти, що поєднують відображення транспортних мереж і потоків.

Звернемо увагу, що одні зазначені види карт транспорту мають широке поширення (наприклад, карти ввезення-вивезення продукції і пасажирських зв'язків або карти технічної озброєності шляхів спо-

лучення), інші ж зустрічаються вкрай рідко або майже відсутні, проте, тим не менш, з теоретичної точки зору можуть існувати. Так, в представленій класифікації в групі карт, що відображають структуру транспортної мережі, виділено карти районування за особливостями структури і карти окремих показників структури мережі. Це зроблено за аналогією з вхідними в групу карт забезпеченості території транспортною мережею картами районування за

ступенем забезпеченості території і картами окремих показників забезпеченості території залізничною мережею.

Питання використання вихідних карт. На підставі виконаного аналізу наукових підходів до вивчення транспортних мереж були визначені такі питання застосування карт на попередньому і основному етапах дослідження.

1. Питанням застосування карт на попередній стадії дослідження транспортних мереж (зокрема, вибору джерел, отримання за картками вихідних даних), до сих пір приділялося недостатньо уваги. Найбільш детально були розроблені питання картометрії, універсальна методологія якої активно використовується, у тому числі, і в транспортних дослідженнях, наприклад, при вимірюванні довжин ділянок місцевих автодоріг. Однак при вивченні залізничних мереж затребуваність картометричних вимірювань невелика, адже в даному випадку для отримання даних про протяжність використовуються, зазвичай, статистичні матеріали. Відзначимо, що практично у всіх згаданих у переліку літератури наукових працях відсутні будь-які обґрунтування використання карт в виконаних роботах і, швидше за все, добір вихідного картографічного матеріалу проводився на «інтуїтивному» рівні; карти, що були «відправною точкою» дослідження, майже не аналізувалися.

Є лише поодинокі згадки про використання карт. Таким чином, необхідна розробка методології вибору картографічних джерел при вивченні просторових характеристик транспортних мереж.

2. Щодо використання карт на основному етапі досліджень транспортних мереж, можна стверджувати, що питання застосування картографічного методу дослідження у вивченні забезпеченості території транспортною мережею розроблені досить повно. Проте, не дивлячись на високу ступінь вивченості даної теми, існує проблема, пов'язана з необхідністю розробки нових підходів до транспортного зонування. В 1970-80-і роки в нашій країні були досягнуті значні успіхи в комплексних дослідженнях транспортної забезпеченості територій. Однак, у зв'язку з проведеними в країні економічними реформами, в сучасних умовах при вивченні транспортної забезпеченості, необхідно враховувати і такі параметри, як інвестиційна привабливість територій, соціальна значимість різних видів транспорту, наявність логістичної інфраструктури та ін. Для цілей створення синтетичної карти районування необхідне складання цілого ряду вихідних тематичних карт, на яких повинні бути відображені зазначені елементи транспортного зонування.

Якщо картографічний напрямок в дослідженнях забезпеченості території транспортною мережею безпосередньо заснований на картах, то в дослідженнях структури транспортних мереж «центр ваги» використання карт зміщується на етап створення топологічної моделі, для вивчення просторових характеристик якої в подальшому застосовуються різноманітні математичні методи дослідження. Відзначимо, що з часу основоположних досліджень практично не висвітлювалися питання переходу від карти до топологічної моделі транспортної мережі, по якій і повинні проводитися розрахунки показників, що описують просторову структуру конкретної мережі. Це викликано тим, що підсвідомо мається на увазі схожість картографічної моделі дійсності (тобто карти) і топологічної моделі, в результаті чого характеристики структури мережі визначаються безпосередньо по карті.

Дійсно, за визначенням карта є плоскою просторовою, математично певною образно-знаковою моделлю дійсності, з чого випливає, в тому числі, наявність у картографічного зображення топологічних властивостей — безперервності і сусідства об'єктів. Однак дані властивості затуюються топографічними властивостями картографічного зображення — його здатністю передавати на площині в обраній системі координат і масштабі величини реальних об'єктів, і відносини між ними (відстані).

Більш того, вимоги до точності карт зводяться, як правило, до вимог дотримання геометричної точності, яка має на увазі правильність нанесення на карту об'єктів, які відображаються щодо найближчих пунктів і точок геодезичної основи, тобто коректне відображення топографічної складової картографічного зображення. Особливо це характерно для загальногеографічних карт (як топографічних, так і дрібномасштабних оглядових), що пов'язано з призначенням даних картографічних творів, яке передбачає отримання по ним координат, відстаней і площ (тобто проведення картометричних вимірювань). Правильному відображенню топологічної складової картографічного зображення (це називають топологічною точністю) традиційно приділяється, як правило, менше уваги. Проте, в соціально-економічному (не технічно-навігаційному) плані важливі, перш за все, топологічні характеристики транспортних мереж. Так, при вивченні структури транспортних мереж (їх просторових характеристик) недотримання топологічної точності здатне спотворити результати дослідження.

Таким чином, представляється вкрай важливою розробка алгоритму переходу від зображення транспортної мережі на географічній карті до топологічної моделі, призначеній для розрахунку показників, що характеризують просторову структуру мережі.

Таким чином, представляється вкрай важливою розробка алгоритму переходу від зображення транспортної мережі на географічній карті до топологічної моделі, призначеній для розрахунку показників, що характеризують просторову структуру мережі.

Застосування даних дистанційного зондування Землі для моніторингу залізничної інфраструктури

Аеро- і космофотознімки вже досить давно служать для виявлення і поновлення даних про транспортні мережі.

Як відомо, дешифрування даних дистанційного зондування підрозділяється на три етапи:

- 1) виявлення об'єктів, які відобразились на знімках;
- 2) упізнання (розпізнавання) об'єктів;
- 3) визначення характеристик об'єктів.

Згідно з даними, для виявлення об'єктів залізничного транспорту потрібні аерокосмічні знімки, що характеризуються мінімальним просторовим

розрізненням (L_R) 30 м, для розпізнавання — 6 м, а виявлення характеристик можливо при просторовому розрізненні знімків вище 1,5 м.

Відповідно, мають використовуватися знімки високого ($L_R = 10 \div 30$ м), дуже високого ($L_R = 1 \div 10$ м), а також надвисокого ($L_R \leq 1$ м) розрізнення.

Для фотографічних знімків під просторовим розрізненням мається на увазі лінійне розрізнення, яке розраховується за формулою

$$L_R = M / 2R_{сн},$$

де M – знаменник масштабу фотографічного знімку, $R_{сн}$ – роздільна здатність оригінального негативу; для цифрових (сканерних та ін.) знімків за просторову роздільну здатність приймається розмір пікселя

для PIX на місцевості, розраховується як

$$L_R = \sqrt{2} \cdot PIX.$$

В даний час широке розповсюдження отримав доступ до даних ДЗЗ за допомогою геопорталів – геоінформаційних Web-сервісів, заснованих на матеріалах космічної зйомки Землі. До числа найбільш відомих загальнодоступних геопорталів відносяться Google Earth, Microsoft Virtual Earth, Yahoo! Maps, Kosmosnimki. Розглянемо можливості отримання відомостей про залізничні мережі на прикладі Web-сервісу Kosmosnimki.

Базове покриття зазначеного геопортала використовує матеріали космічних зйомок, які мають характеристики, що наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Узагальнені характеристики супутників ДЗЗ, дані яких наведені в геопорталі Kosmosnimki

№ з/п	Держава	Компанія-власник	Космічний апарат	Рік запуску	Роздільна здатність, м	Ширина смуги з'йомки, км	Масштаб топокарти аналогічної точності
Надвисока розрізнювальна здатність							
1	США	GeoEye	IKONOS	1999	0,8	11,3	1:5 000
Дуже висока розрізнювальна здатність							
2	Індія	ISRO	IRS-1C	1995	5,8	70	1:50 000
			IRS-1D	1997	5,8	70	1:50 000
			IRS-P6	2003	5,8	23-70	1:50 000
3	Франція	SPOT Image	SPOT 2	1990	10	60	1:100 000
			SPOT 4	1998	10	60	1:100 000
Висока розрізнювальна здатність							
4	США	NOAA	Landsat-7	1999	15	185	1:200 000

На рис. 7, а–в представлені зразки демаскуючих ознак залізниць на космічних знімках (відзначимо, що виявлення зазначених ознак на аеро- і космоснімках практично нічим не відрізняється, що робить можливим застосування загальної методології). Як видно з рис. 7, а, на знімках з просторовим дозволом 15 м (зразок приведено до масштабу 1:200 000), чітко виявляється лінійна структура геозображення, проте детальне впізнання залізничної мережі при даному розрізненні неможливе – схожою структурою зображення володіють також автомобільні шляхи, траси трубопроводів і лінії електропередач, у яких однаково чітко виражена сталість ширини.

табу 1:200 000), чітко виявляється лінійна структура геозображення, проте детальне впізнання залізничної мережі при даному розрізненні неможливе – схожою структурою зображення володіють також автомобільні шляхи, траси трубопроводів і лінії електропередач, у яких однаково чітко виражена сталість ширини.

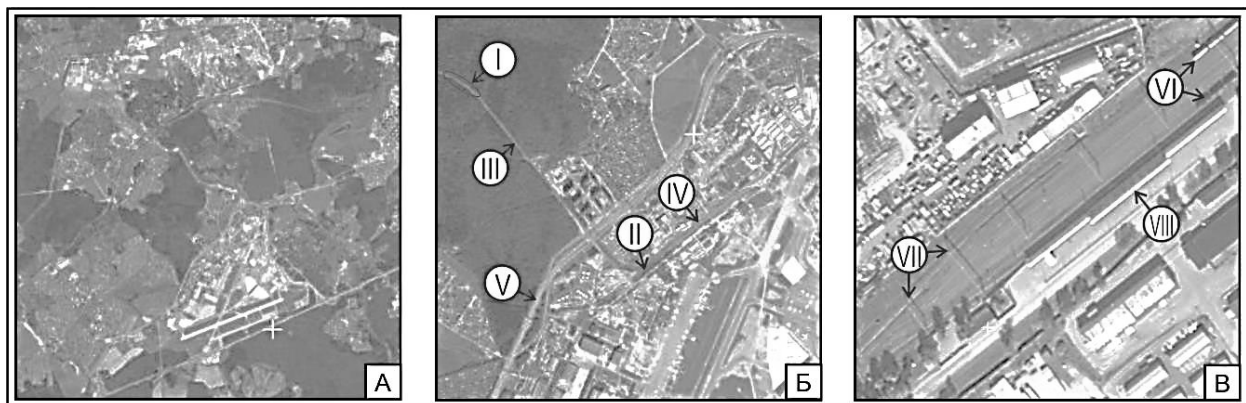


Рис. 7. Відображення залізниць на космічних знімках високої, дуже високої і надвисокої розрізнювальної здатності геопортала Kosmosnimki

Знімки з просторовим розрізненням 5,8 м (зразок приведено до масштабу 1:50 000) дозволяють розпізнати залізниці за прямими ознаками (див. рис. 7б). Полотно залізниці відрізняється прямолінійністю обрисів, плавністю і великими радіусами закруг-

лень (I); примикання інших залізничних ліній, на відміну від автодоріг, ніколи не відбувається під прямим кутом (II). Залізниці мають більш плавний, ніж у шосейних шляхів, поздовжній профіль, тому багато великих і дрібних насипів і виїмок. У лісі

залізницю, як правило, супроводжує широка розчищена смуга відводу (III). У безлісних районах уздовж полотна можуть бути розташовані снігозахисні посадки або щити для снігозатримання. На залізничних станціях збільшується кількість шляхів, тому видно загальне розширення полотна (IV). Відзначимо також, що одержавши поширення з кінця 1970-х років в ряді регіонів нашої країни автомагістралі (автостради) мають ряд загальних із залізницями демаскуючих ознак, проте на відміну від останніх, мають більшу ширину земляного полотна — близько 23 м і більше (V).

Крім того, автомагістралі характеризуються відсутністю поздовжньої смугастості в зображенні полотна і специфічними конфігураціями шляхових розв'язок.

Що ж стосується знімків, що мають просторову розрізняльну здатність 0,8 м (зразок приведено до масштабу 1: 5 000), то вони дозволяють не тільки безпомилково розпізнати залізницю, а й визначити багато їх характеристик (див. рис. 7в). Поряд з демаскуючими ознаками, описаними вище, на аеро- і космоснімках надвисокої розрізняльної здатності часто видно рейки і шпали; також залізні дороги надійно дешифруються при наявності рухомого складу (VI). Таким чином, стає можливим визначити кількість шляхів на станціях і перегонах, а також наявність електрифікації (особливо при використанні контактної мережі з жорсткими поперечками, дешифрувати які допомагають тіні, що ними відкидаються (VII). Також хорошими демаскуючими ознаками є зображення пасажирських будівель, пакгаузів та інших різних залізничних споруд, спеціально обладнаних пасажирських платформ (VIII) і вантажно-розвантажувальних майданчиків.

Крім того, на знімках надвисокої розрізняльної здатності помітна відмінність залізничних ліній за шириною колії (вузькоколіїні залізниці відрізняються від широкої колії меншими розмірами,

більш крутими поворотами і помітно меншим за кількістю рухомим складом; особливо це помітно в місцях, де вузькоколіїки підходять до станцій залізниць широкої колії). Також можливе визначення ступеня експлуатаційної готовності залізничних ліній. Так, у доріг що тільки будуються, на знімках траса простежується як би «пунктиром». Видно також сліди земляних робіт, а також тимчасові при trasові ґрунтові дороги. У міру наближення до закінчення будівництва залізниця набуває рис діючої, але виділяється різкістю обрисів насипів і виїмок. Добре видно на знімках також полотна розібраних залізниць. Від діючих ліній зображення розібраних залізниць відрізняється відсутністю рейок і частини мостів, а також деякою загальною «розмитістю».

Однак, незважаючи на високу інформативність космоснімків, в цілому розміщені на геопорталах дані неоднорідні за своїми характеристиками. У відкритому доступі знімки надвисокої розрізняльної здатності представлені тільки на територію великих міст і мегаполісів; в інших випадках слід дотримуватися зйомки на замовлення. Це унеможливує визначення за допомогою геопорталів сучасного стану експлуатаційної готовності залізничних ліній на більшу частину країни.

Таким чином, на підставі сказаного маємо необхідність залучення в дослідження залізничних мереж також і таблично-текстових даних.

Спільне використання джерел при дослідженні еволюції просторового розміщення залізниць. У світлі вищесказаного при застосуванні картографічного методу дослідження залізничних транспортних мереж видається очевидною необхідність спільного застосування усіх доступних джерел. З метою найбільш повного використання їх інформативних можливостей при вивченні просторового розміщення залізниць з урахуванням досліджуваного періоду розвитку мережі доцільно дотримуватися такого порядку (табл. 5).

Таблиця 5 – Зведена таблиця комплексного використання джерел для дослідження залізничних транспортних мереж

Джерела	Періоди розвитку залізничної мережі, роки									
	1838	1850	1900	1950	2000					
Літературно-географічні матеріали	█	█	█	█	█					
Карти шляхів сполучення			█	█	█					
Обзорно-топографічні карти				█	█					
Обліково-статистичні відомчі матеріали				█	█					
Нормативно-правові матеріали										█
Космічні знімки									█	█
Польові спостереження	█	█	█	█	█					
Умовні позначення										
█ Маються окремі неоднорідні матеріали										
█ Маються однорідні, регулярно виходячі матеріали										
█ Маються неоднорідні матеріали на весь досліджувальний період										
█ Наявність матеріалів по залізницям незагального користування										

Використовуючи на початку дослідження літературно-географічні джерела загального характеру для з'ясування реалій досліджуваного періоду, переходять до докладних описів, що містять хронологічні таблиці введення ділянок залізничних ліній в експлуатацію. Територіальне розміщення ліній визначають по картах шляхів сполучення, за датою складення найближче віддаленою від моменту введення ділянки в експлуатацію, а в разі відсутності інформації (перш за все, по шляхах незагального користування і залізничних вузлах), використовують оглядово-топографічні карти.

Якщо відомості, що стосуються окремого моменту розвитку залізничної мережі, в літературно-

географічних і картографічних джерелах суперечать один одному, необхідно залучення відомчих обліково-статистичних матеріалів.

Структура ГІС-моніторингу стану залізниці

На основі аналізу історичних джерел, стосовних залізничної інфраструктури України, сучасного стану державної залізниці, можливостей ГІС в процесі її моніторингу, а також особливостей картографічного методу дослідження залізничних транспортних мереж з урахуванням проблемних питань використання в процесі моніторингу залізниць географічних карт, розроблено структуру ГІС-моніторингу стану залізниці (рис. 8).

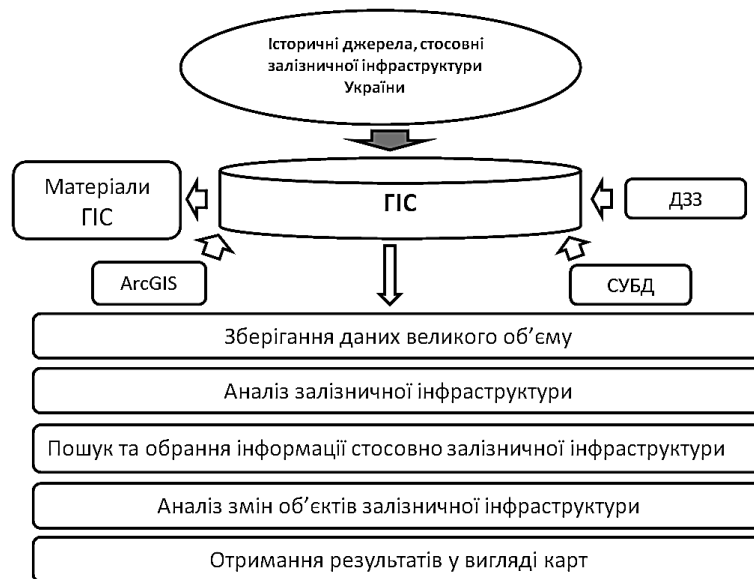


Рис. 8. Структурна схема ГІС-моніторингу стану залізниці

До запропонованої структури входить блок геоінформаційних систем, який отримує дані дистанційного зондування Землі та картографічні матеріали, для оброблення яких застосовуються системи управління базами даних (СУБД). Також структура передбачає застосування програмного забезпечення ArcGIS провідної в геотехнологіях компанії ESRI (США).

Детальний опис алгоритмів побудови електронних картографічних моделей, що передбачено в рамках запропонованої структури ГІС-моніторингу стану залізниці, наведено в роботах [1–4].

Таким чином, на основі даних ДЗЗ, застосування сучасних систем управління баз даних, пошуку та обрання інфраструктурної інформації розроблено структуру ГІС-моніторингу стану залізниці, яка забезпечує побудову картографічних моделей і отримання актуальних карт поточного стану залізничних сполучень держави.

Висновки

На підставі аналізу історичного розвитку та сучасного стану залізничної інфраструктури України показано, що одним з важливих елементів реформування і удосконалення залізничного транспорту в сучасних умовах є перехід до комплексних інфор-

маційно-управляючих технологій з використанням засобів супутникової навігації. Обґрунтовано необхідність напрацювання єдиних технічних вимог і вибору платформи для створення на базі технологій ГІС нових картографічних моделей залізничних сполучень України, адже електронна картографічна модель залізниць, побудована з використанням технологій ГІС, допомагає вирішувати не лише задачі ефективного управління перевізним процесом, а й задачі контролю використання рухомого й нерухомого залізничного майна та всієї галузевої інфраструктури.

Виконано усебічний аналіз картографічного методу дослідження залізничних транспортних мереж, а саме, підходи до вивчення і напрямки досліджень в аспектах забезпеченості територій транспортною мережею і досліджень структури транспортних мереж. Окрему увагу приділено проблемним питанням використання карт в дослідженнях транспортних мереж. Ретельно розглянуто картографічний метод на різних стадіях дослідницького процесу, а також класифікації карт транспорту, зокрема, за масштабом, територіальним охопленням і тематикою. Розглянуто особливості застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для залізничної інфраструктури, отримано висновок про необ-

хідність комплексного застосування усіх доступних інформаційних джерел для побудови картографічних моделей залізничних сполучень на основі технологій ГІС. Запропоновано структуру ГІС-моніторингу залізниці, яка на основі даних ДЗЗ, за-

стосування сучасних баз даних, пошуку та обрання інфраструктурної інформації забезпечує побудову картографічних моделей і отримання актуальних карт поточного стану залізничних сполучень держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев С. М., Жилін В. А. Методика побудови гіпсометричних картографічних моделей рельєфу за даними дистанційного зондування Землі. Сучасні інформаційні системи: Щоквартальний науково-технічний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – Т. 4, № 4 – 136 с. – С. 11-22.
2. Андреев С. М., Жилін В. А. Методика побудови гідрологічних картографічних моделей за даними дистанційного зондування землі. Сучасні інформаційні системи: Щоквартальний науково-технічний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – Т. 4, № 3 – 162 с. – С. 22-40.
3. Андреев С. М., Жилін В. А., Мельник А. П. Застосування анаморфозних картографічних моделей для аналізу геоданих. Сучасні інформаційні системи: Щоквартальний науково-технічний журнал. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – Т. 3, № 3 – 142 с. – С. 5-16.
4. Андреев С. М., Жилін В. А. Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості. Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2019. – Вип. 1(53) – 168 с. – С. 3-16.
5. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. – М.: Астрей, 1997. – 64 с.
6. Адров, В.Н. Данные ДЗЗ для топографического картографирования – критерии выбора / В.Н. Адров, Ю.И. Карионов, П.С. Титаров, А.Д. Чекурин // Пространств. данные. – 2005. – № 4. – С. 38–45.
7. Андреева, Е.Н. Мелкомасштабные карты хозяйственной освоенности территории (концепция, содержание, легенда) / Е.Н. Андреева, Я.Г. Машбиц, С.Б. Шлихтер // Пути совершенствования картогр. изучения природ. среды и ресурсов мира и континентов. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1987. – С. 39–52.
8. Берлянт, А.М. Геоизображения и их свойства / А.М. Берлянт // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. – 1987. – Т. 119, вып. 5. – С. 403–411.
9. Берлянт, А.М. Картографический метод исследования / А.М. Берлянт // Геодезия, геоинформатика, картография, кадастр: Энцикл.: в 2-х т. / под общ. ред. А.В. Бородко, В.П. Савиных. – М.: Геодезкартиздат, 2008. – Т. 1. – С. 319–320.
10. Берлянт, А.М. Картография / А.М. Берлянт. – 3-е изд., доп. – М.: КДУ, 2011. – 464 с.
11. Билич, Ю.С. Проектирование и составление карт / Ю.С. Билич, А.С. Васмут, Л.М. Бугаевский. – М.: Недра, 1984. – 364 с.
12. Бугроменко, В.Н. Графо-аналитический метод оценки конфигурации транспортных сетей / В.Н. Бугроменко // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. – 1985. – Вып. 1. – С. 48–53.
13. Конарев, Н.С. Железнодорожный транспорт / Н.С. Конарев, Л.П. Черноцкая Ж.-д. трансп.: Энцикл. / гл. ред. Н.С. Конарев. – М.: Большая Рос. энцикл., 1994. – С. 7–12.
14. Чибряков, Я.Ю. Использование геоинформационных технологий для картографирования железнодорожного транспорта / Я.Ю. Чибряков // Бюл. трансп. информ. – 2003. – № 10. – С. 35–40.

Received (Надійшла) 11.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Application of geoinformation systems technologies for construction of cartographic models of railway connections

Sergey Andrieiev, Volodymyr Zhilin

Abstract. The subject of the research is the method of creation cartographic models of railway connections with the use of geographic information systems (GIS). The object of the study is the process of creating digital models of railway infrastructure for the optimal solution of transport problems and providing real-time monitoring of movable and immovable property of the railway and efficient energy usage. The purpose of the work is to increase the informativeness of monitoring the railway infrastructure of Ukraine through the use of geographic information technologies. **Conclusions.** Based on the analysis of the historical development and current state of the railway infrastructure of Ukraine, it is shown that one of the important elements of reforming and improving railway transport in modern conditions is the transition to integrated information and management technologies using satellite navigation. The necessity of working out unified technical requirements and choosing a platform for creation of new cartographic models of railway connections of Ukraine on the basis of GIS technologies is substantiated, since the electronic cartographic model of railways constructed with use of GIS technologies helps to solve not only problems of transport process effective management, but also real estate and all industry infrastructure. A comprehensive analysis of the cartographic method of research of railway transport networks, namely, approaches to the study and direction of research in terms of the provision of areas with transport network and research on the structure of transport networks. Particular attention is paid to the problematic issues of the use of maps in the study of transport networks. The cartographic method at different stages of the research process, as well as the classification of transport maps, in particular, by scale, territorial coverage and subject matter, is carefully considered. Peculiarities of remote sensing data of the Earth application for remote railway infrastructure are considered, the conclusion on necessity of complex application of all available information sources for construction of cartographic models of railway connections on the basis of GIS technologies is received. The structure of GIS-monitoring of the railway is offered, which on the basis of remote sensing data, various databases, search and selection of infrastructural information provides construction of cartographic models and obtaining actual maps of the current state of railway connections of the state.

Keywords: monitoring of railway infrastructure of Ukraine, geoinformation systems, cartographic models of railway connections.

І. М. Бутко

Державне підприємство «Центр державного земельного кадастру», Київ, Україна;

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ СТРУКТУР В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ГЕОПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Предметом вивчення в статті є геопросторові структури в системах обробки геопросторової інформації. Метою є формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації. Завдання: аналіз основних завдань при прийнятті управлінських рішень, формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації, конкретизація основних об'єктів та морфізмів, що використовуються в системах обробки геопросторової інформації, представлення формальної моделі геопросторових інформаційних структур, формалізація операцій, що проводяться над геопросторовими інформаційними структурами. Використовуваними методами є: методи теорії категорій, теорії ймовірності, математичної статистики, системного аналізу, математичний апарат теорії матриць. Отримані такі результати. Формалізована технологія використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації. Представлені основні об'єкти та морфізми, що використовуються в системах обробки геопросторової інформації. Формалізована модель геопросторових інформаційних структур. Формалізовані операції, що проводяться над геопросторовими інформаційними структурами. Висновки. Проведена формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації. Наведені основні об'єкти та морфізми, що використовуються в системах обробки геопросторової інформації. Представлена формальна модель геопросторових інформаційних структур. Проведена формалізація операцій, що проводяться над геопросторовими інформаційними структурами. Напрямами подальших досліджень є: розробка теоретичних основ використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації у вигляді сукупності моделей, методів та інформаційних технологій побудови і використання геопросторових структур

Ключові слова: формалізація, технологія використання, геопросторова структура, геопросторова інформація, система обробки, теорія категорій.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Відомо [1, 2], що складність управління на будь-якому рівні обумовлена об'єктивним протиріччям між вимогами до управлінських рішень в розрізі їх актуальності, достовірності, достатності, доступності, автентичності та суперечливості умов, обмеженістю наявних ресурсів та недостатністю вхідної інформації для прийняття рішень.

Рішення – це відповідна реакція на внутрішні та зовнішні впливи, які спрямовані на розв'язання проблем та максимальне наближення до заданої мети [1]. Процес підготовки таких рішень має на меті формування повної сукупності альтернатив за результатами моделювання складної суперпозиції цілей, шляхів, ресурсів та результатів, що обумовлює необхідність збору та опрацювання великих обсягів різнопланової інформації. Управлінське рішення є соціальним актом, що організовує та спрямовує в певне русло діяльність господарського суб'єкта, територіальної громади, району, області та виконує роль засобу, який сприяє досягненню мети, поставленої перед ним [1].

В теперішній час джерелом інформації для прийняття управлінських рішень є сучасні системи обробки геопросторової інформації [3–5]. Використання геопросторової інформації, як правило, проводиться з метою прийняття рішень при виконанні інвентаризаційних, моніторингових, оперативних та дослідницьких заходів [3–5]. Використання систем обробки геопросторової інформації потребує математичної формалізації вирішення різномірних завдань. Актуальним є завдання використання геопр-

сторових структур в системах обробки геопросторової інформації.

Мета статті – формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Геопросторова інформація використовується, наприклад, органами державного управління при систематизації та приведенні земельних відносин до європейських стандартів [6]. В [6] зазначається, що у сфері земельних відносин автоматизація та інформатизація зменшують негативні процеси і явища, пов'язані зі зловживанням правовими недоліками в земельному законодавстві. Але математична постановка завдання обробки інформації геопросторової інформації в [6] не наведена.

Дослідження [7–10] показують, що створення високопродуктивних систем автоматизації та інформатизації має здійснюватися на базі інтелектуальних інформаційних технологій, основу яких складають системи підтримки прийняття рішення. В [7, 8] лише зазначається, що інтелектуальні системи повинні мати потужне математичне забезпечення у вигляді відповідних методів і моделей.

Системи підтримки прийняття рішень мають різні математичні бази та дозволяють замінити людські ресурси на етапі обробки і структурування вихідних даних [9, 10]. При цьому зазначається, що роль людини при прийнятті рішень залишається пріоритетною. Формалізації завдань обробки геопросторової інформації в [7–10] не наведено.

В [14, 15] зазначається, що при заповненні в сфері земельних відносин важливу роль відіграють моделі формалізації права. Особливістю правових

формальних моделей є те, що вони повинні бути строгими і не допускати неоднозначного тлумачення. Застосування моделей формалізації в правознавстві сприяє повному і правильному сприйняттю інформації та забезпеченню строгих правових приписів.

В [1, 13] зазначається, що модель інформаційно-аналітичного забезпечення та супроводу управлінської діяльності передбачає виконання таких функцій:

- моніторинг ситуації. Реалізація цієї функції забезпечує аналіз всієї поточної інформації, яка надходить, її узагальнення, співставлення та надання у вигляді, який найбільшою мірою відповідає їх потребам. Матеріали аналізу джерел, поряд з іншими базами даних, є основою для підготовки аналітичних доповідей, записок, довідок та інших документів системи проблемно-орієнтованого інформування керівництва;

- збирання та первинне опрацювання інформації. Ці процеси представляють собою найбільш рутинну, трудомістку частину робіт. При незадовільній організації робіт із збирання та первинного опрацювання інформації аналітичні дослідження характеризуються низькою достовірністю та об'єктивністю, а їх результати, як правило, відображають суб'єктивну думку окремих аналітиків-експертів. Робота із збирання та первинного опрацювання інформації поєднує множину технічних та рутинних операцій у спільний процес, забезпечуючи приймання та реєстрацію інформації, яка надходить, перевірку цілісності та достовірності даних, систематизацію інформації за тематикою та адресою;

- експертно-аналітичне забезпечення. При реалізації цієї функції необхідно виявити найбільш компетентних фахівців у проблемних галузях та оцінити їх реальні можливості;

- створення системи автоматизованої підтримки аналітичних досліджень. Така система дає змогу оптимально організувати супровід інформаційно-аналітичних досліджень з використанням спеціальних інформаційно-програмних засобів, які включають структурно-інформаційні, лінгвістичні та прикладні програмні компоненти.

В [1, 13] не наведена формалізація запропонованої моделі інформаційно-аналітичного забезпечення та супроводу управлінської діяльності.

Основна частина

Процес розробки та прийняття управлінського рішення, як правило, включає 7 стадій [1, 7–10]:

- аналіз ситуації та постановку мети;
- вибір й обґрунтування критеріїв ефективності та можливих наслідків рішень, які приймаються;
- розгляд варіантів рішень;
- кінцеве формулювання рішення;
- прийняття рішення та доведення його до виконавців;
- організація виконання рішень;
- контроль за виконанням рішень.

В системах обробки геопросторової інформації різного призначення на різних етапах проводиться обробка даних різного типу, які тим не менш, структурно ізоморфні – геопросторові інформаційні структури (GeoIS).

Узагальнена схема системи обробки геопросторової інформації, що базується на GeoIS, представлена на рис. 1.

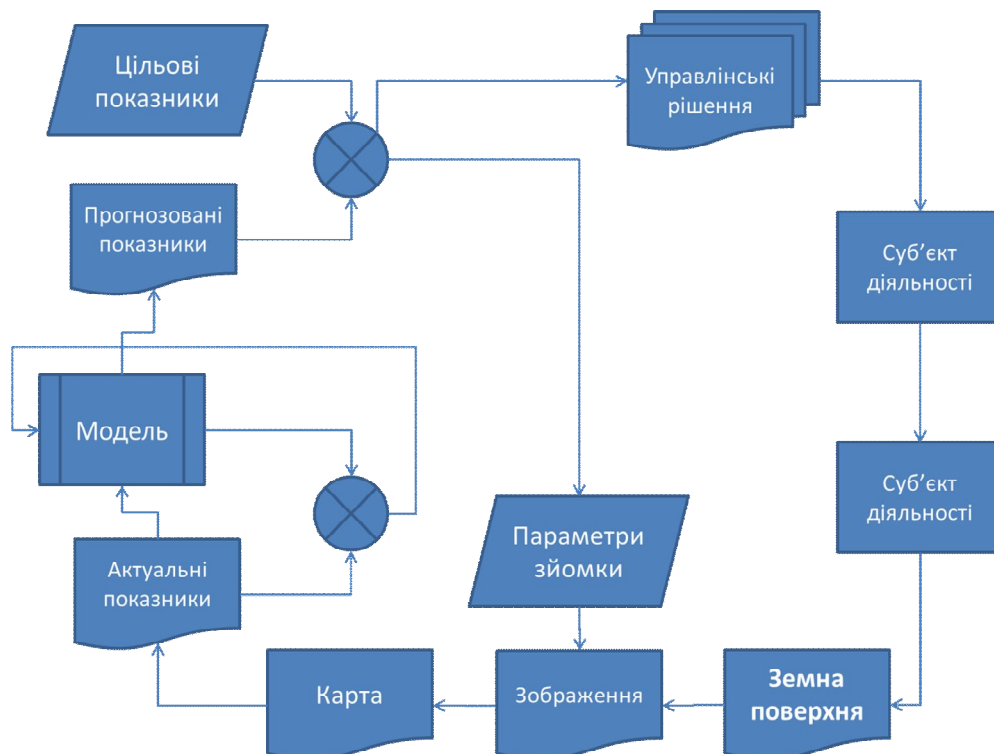


Рис. 1. Узагальнена схема системи обробки геопросторової інформації, що базується на GeoIS

Наступні твердження будемо проводити з використанням теоретико-категорійного апарату [14, 15, 16].

Аналізуючи наведену на рис. 1 узагальнену схему системи обробки геопросторової інформації, можна виділити основні геопросторові інформаційні структури, що використовуються:

1) «поверхня» – **TGeoSurface**, представляє собою множину точок поверхні Землі, що задані своїми гео-координатами (географічна довгота і широта, висота над рівнем моря);

2) «зображення» – **TImage**, множина точок, кожна з яких є вектором інтенсивності в різних спектральних діапазонах, точки задаються у прямокутній системі координат зображення; (задача геоприв'язки)

3) «карта» – **TMap**, множина точок, кожна з яких є вектором геоознак (тип поверхні, зонування тощо), точки задаються геокоординатами;

4) «ознаки» – **TFeature**, множина ознак (площа, індекс вегетації тощо);

5) «рішення» – **TDecision**, множина управлінських рішень.

Надалі, ці GeoIC будемо називати об'єктами, а можливі дії, при яких проводяться перетворення об'єктів – морфізмами. Суть цієї термінології буде зрозумілою з подальшого викладу.

Для введених вище об'єктів можливі такі морфізми, що дозволяють отримувати з одного об'єкту інший:

- 1) тотожні перетворення:
 $\text{Id}_{\text{TGeoSurface}}: \text{TGeoSurface} \rightarrow \text{TGeoSurface};$
 $\text{Id}_{\text{TImage}}: \text{TImage} \rightarrow \text{TImage};$
 $\text{Id}_{\text{TMap}}: \text{TMap} \rightarrow \text{TMap};$
 $\text{Id}_{\text{TFeature}}: \text{TFeature} \rightarrow \text{TFeature};$
 $\text{Id}_{\text{TDecision}}: \text{TDecision} \rightarrow \text{TDecision}.$
- 2) дистанційне зондування поверхні:
MRemoteSensing: $\text{TGeoSurface} \rightarrow \text{TImage};$
- 3) картографування:
MMapping: $\text{TImage} \rightarrow \text{TMap};$
- 4) рендеринг:
MRendering: $\text{TMap} \rightarrow \text{TImage};$
- 5) виділення ознак:
MExtraction: $\text{TMap} \rightarrow \text{TFeature};$
- 6) прийняття управлінських рішень:
MManagement: $\text{TFeature} \rightarrow \text{TDecision}$
- 7) діяльність:
MAction: $\text{TDecision} \rightarrow \text{TGeoSurface};$
- 8) районування:
MZoning: $\text{TDecision} \rightarrow \text{TMap};$
- 9) вибір ознак:
MSelection: $\text{TDecision} \rightarrow \text{TFeature};$
- 10) вибір параметрів ДЗЗ:
MControl: $\text{TDecision} \rightarrow \text{TImage}.$

Для вирішення проблеми подання різномірних технологій програмної інженерії в єдиній формі, зручній для їх інтеграції та координації в рамках загального циклу проектування програмних систем останнім часом використовується математичний апарат теорії категорій, на базі якого побудовано універсальні теоретико-категорійні семантичні моделі цих технологій [17].

Відомо [18–23], що категорією називається пара, що складається з класу об'єктів $A, B, C \dots$ і класу морфізмів (стрілок) $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C$, що зв'язують деякі пари об'єктів, які мають наступні властивості.

Для будь-якої пари морфізмів виду $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C$ визначено добуток (композицію морфізмів) $g \circ f$, що є морфізмом $g \circ f: A \rightarrow C$. При цьому:

– добуток є асоціативною операцією, тобто для будь-яких морфізмів $f: A \rightarrow B, g: B \rightarrow C, h: C \rightarrow D$ справедливо, що

$$h \circ (g \circ f) = (h \circ g) \circ f;$$

– для кожного об'єкту A існує одиниця – тривіальний морфізм id_A , такий, що для $f: A \rightarrow B$

$$f \circ id_A = id_B \circ f = f.$$

Наприклад, клас множин, що розглядаються в якості об'єктів, і клас відображень як морфізмів утворюють категорію множин **Set**, якщо під добуток розуміти операцію суперпозицію функцій.

Таким чином, для подальшого розгляду буде зручно ввести категорію **CAT_GeoIS**, об'єкти і морфізми якої було введено вище.

При переході від абстрактної GeoIC (яка по суті є декларативною) до конкретної GeoIC (наприклад, «карти»), необхідно імплементувати її структури даних та методи (алгоритми) роботи з ними.

Зміни, що необхідно застосувати до GeoIC при їх конкретизації, будемо називати, по аналогії з термінологією, яка у дещо іншому сенсі була введена у [22], імплементаторами. З кожною геопросторовою інформаційною структурою пов'язана множина допустимих імплементаторів. Нехай задано множину методів обробки геопросторової інформації (далі – просто методів) S і певну GeoIC, яка може використовуватись методами з множини S . Позначимо через X множину допустимих імплементаторів цієї структури.

Кожен імплементатор з множини X перетворює абстрактну GeoIC в конкретну інформаційну структуру, що використовується для методів з множини S .

Таким чином, формальну GeoIC визначає відображення $\varphi: X \rightarrow S$. Це відображення в роботі будемо називати S -структурою з областю імплементаторів X .

Якщо $s \in S$ – деякий метод, то він буде сумісним по інтерфейсу з структурою φ якщо $s \in \text{Im}(\varphi)$, тобто якщо для деякого $x \in X$ маємо, що $\varphi(x) = s$. Нехай S і T – дві множини методів, тоді формальною технологією (у вузькому сенсі, далі – просто технологією) з S у T називається пара GeoIC $\varphi: X \rightarrow S$ і $\psi: X \rightarrow T$ із спільною областю імплементаторів.

Технологія може бути застосована до методу $s \in S$, якщо цей метод сумісний по інтерфейсу з його лівою частиною – GeoIC $\varphi: X \rightarrow S$, тобто, якщо для

$x \in X$ маємо, що $\varphi(x) = s$. У цьому випадку результатом застосування технології є метод $\psi(x) \in T$, таким чином, формальна технологія (визначена вище) переводить методи з множини S у методи з множини T . Відзначимо, що елемент $x \in X$ визначається рівністю $\varphi(x) = s$ неоднозначно, а отже, неоднозначно визначається і $\psi(x)$, тобто результат дії технології. Технологія показує лише можливі переходи від методу до методу, і з технологією може бути пов'язано кілька можливих методів [22].

Проведемо формалізацію операцій, що проводяться над геопросторовими інформаційними структурами. Зрозуміло, що множина імплементацій одної GeoIC може виступати в якості множини методів для іншої. Будемо говорити, що задана система GeoIC, якщо визначено, які множини можуть виступати в якості множини методів і множини імплементацій, і які відображення допускаються в якості GeoIC. Будемо вимагати, щоб клас всіх таких відображень був би замкнутий щодо композиції та включав в себе тождісні відображення. Це, в свою чергу, означає, що задати систему GeoIC – означає задати конкретну категорію C , наприклад, підкатегорію категорії множин і відображень. При цьому в якості GeoIC можна вважати будь-який морфізм $\varphi \in C(X, Y)$ цієї категорії. У загальному випадку можна відмовитися від вимоги, щоб категорія C обов'язково була б підкатегорією категорії множин, для отримання нетривіальних результатів достатньо, щоб вона належала до декартово замкнутих категорій – типу категорій, у яких кожен морфізм, що задано на добутку двох об'єктів можна природно ідентифікувати із морфізмом на одному із множників [18], [22–23].

З точки зору програмування декартово замкнуті категорії реалізують інкапсуляції аргументів функцій, тобто кожен аргумент представляється об'єктом категорії і використовується як окрема сутність. Разом з тим виразності декартово замкнутих категорій цілком достатньо, щоб оперувати з функціями способом, прийнятним в λ -численні, що робить їх природними категорійними моделями типізованого λ -числення. Тому декартово замкнуті категорії особливо широко використовуються у математичній логіці і програмуванні [18, 23].

Визначення. Категорія C називається декартово замкнутою, якщо вона задовольняє трьома умовам:

- 1) у C є термінальний об'єкт;
- 2) будь-які два об'єкти X, Y у C мають добуток $X \times Y$;

Для будь-яких двох об'єктів Y і Z у C існує експоненціал (експоненційний об'єкт) Z^Y .

Категорія, така, що для будь-якого її об'єкта, категорія об'єктів над ним є декартово замкнутою, називається локально декартово замкнутою [18].

Приклади декартово замкнутих категорій:

– категорія множин **Set** природним чином є декартово замкнутою категорією, оскільки функції з

однієї множини в іншу утворюють множину i , отже, є об'єктом. Також в ній існують декартові добутки і термінальний об'єкт – синглетон;

– якщо G є групою, то категорія всіх G -множин є декартово замкнутою;

– категорія всіх скінченних G -множин також є декартово замкнутою;

– категорія **Cat** всіх малих категорій (і функторів, як морфізмів) є декартово замкнутою;

– елементарний топос є декартово замкнутою категорією за означенням [18].

Визначення. Системою формальних GeoIC називається декартово замкнута категорія C , в якій для кожної пари об'єктів X і Y визначена деяка множина $C_s(X, Y) \subset C(X, Y)$ морфізмів, причому виконується така умова технологічної замкнутості: якщо задані морфізми $\varphi: X \rightarrow S$, $\psi: Y \rightarrow S$ і $\sigma: X \rightarrow Y$ такі, що $\varphi = \psi \circ \sigma$, то $\varphi \in C_s(X, S)$ тоді і тільки тоді, коли $\psi \in C_s(Y, S)$.

S -структурою будемо називати морфізми $\varphi: X \rightarrow S$, де X – довільний об'єкт категорії, S -методом – морфізм $\alpha: X \rightarrow S$, $\alpha \in C_s(X, S)$. Об'єкт X будемо називати областю імплементацій S -структури φ .

Метод $\alpha: A \rightarrow S$ вважається сумісним по інтерфейсу з GeoIC $\varphi: X \rightarrow S$, якщо для деякого морфізма $\beta: A \rightarrow X$ маємо, що $\alpha = \varphi \circ \beta$.

Визначення. Формальною технологією з S в T називається пара GeoIC – S -структура і T -структура – із загальною областю імплементацій, тобто пара морфізмів $\varphi: X \rightarrow S$ і $\psi: X \rightarrow T$. Така технологія діє на S -методи, перетворюючи їх у T -методи.

Технологія (φ, ψ) вважається прийнятною для метода $\alpha: A \rightarrow S$, якщо цей метод сумісний по інтерфейсу зі структурою φ , тобто $\alpha = \varphi \circ \beta$ для деякого $\beta: A \rightarrow X$.

Результатом застосування технології до метода α в цьому випадку вважається метод $\psi \circ \beta: A \rightarrow T$ (цей морфізм є методом в силу умови технологічної замкнутості) [22].

Вище вже відзначалося, що категорійною мовою можуть бути описані операції над GeoIC і технологіями, що є корисним в деяких задачах. Почнемо з того, що властивості як GeoIC, так і технологій, можуть бути розділені на дві групи.

До першої групи віднесемо властивості, засновані на тому, як влаштовані ці структури і технології.

До другої – властивості, що описують, якими методами ці GeoIC можна обробляти і як ці технології діють на методи.

Властивості першого виду будемо називати внутрішніми, властивості другого виду – зовнішніми [22].

GeoIC введено як спосіб опису для деякої множини методів, у той же час GeoIC, що використовуються в реальних геопросторових інформаційних

системах, можуть бути згенеровано набором процедур, які представляють собою певні синтаксичні конструкції. GeoIC, як опис множини методів його обробки, і GeoIC, як синтаксична конструкція – це об'єкти, що тісно пов'язані один з одним, але не тожні.

Наприклад, різні за будовою GeoIC можуть задавати ту ж саму множину методів. Аналогічно, технологія, так само як і GeoIC, являє собою деяку синтаксичну конструкцію – набір інструкцій (програму), що реалізує певний алгоритм перетворення методів.

Зазвичай, внутрішні властивості GeoIC і технологій перевіряються набагато простіше, ніж зовнішні властивості, оскільки перевірка перших вимагає розгляду самої GeoIC, а перевірка других – розгляду множини (можливо, нескінченної) сумісних по інтерфейсу з нею методів. Однак, оскільки GeoIC служить для опису множини методів, а технологія – для перетворення методів, то зовнішні властивості в деякому сенсі є більш значущими. Тому важливим є завдання встановити зв'язок між внутрішніми та зовнішніми властивостями. Деякі операції над GeoIC природним чином визначаються за допомогою зовнішніх властивостей, в той же час аналогічне внутрішнє визначення буває менш очевидним. Це буде показано нижче на прикладі композиції технологій. Теоретико-категорійний підхід часто дозволяє довести, що ті чи інші зовнішні операції зводяться до внутрішніх, останні ж можуть бути реалізовані за допомогою стандартних операцій теорії категорій.

Це дозволяє описувати відповідні операції в термінах верхнього рівня і включати їх в програми, що працюють зі знаннями, для яких реалізована відповідна категорія.

Наприклад, GeoIC були введені як спосіб опису деякої множини близьких методів, отже, можна порівнювати GeoIC, порівнюючи ті множини, які вони описують.

Нехай $\varphi: X \rightarrow S$ – деяка GeoIC.

Позначимо через $S\varphi$ множину S -методів, сумісних із структурою φ .

Визначення. GeoIC φ є окремим випадком структури ψ , якщо $S\varphi \subset S\psi$.

Це визначення є зовнішнім, надамо далі його внутрішній аналог.

Визначення. Нехай $\varphi: X \rightarrow S$ і $\psi: Y \rightarrow S$ – дві GeoIC. Будемо говорити, що першу з них можна порівняти з другою, якщо існує морфізм $\chi: X \rightarrow Y$ такий, що $\varphi = \psi \circ \chi$. У цьому випадку будемо також називати структуру φ підструктурою GeoIC ψ .

Останнє визначення повністю повторює дане раніше визначення сумісності по інтерфейсу метода зі структурою, яке тепер може розглядатися як окремий випадок сумісності двох GeoIC.

Теорема. Якщо GeoIC $\varphi: X \rightarrow S$ можна порівняти зі структурою $\psi: Y \rightarrow S$, то будь-який метод, що сумісний по інтерфейсу зі структурою $\varphi: X \rightarrow S$, є сумісним і з GeoIC $\psi: Y \rightarrow S$, тобто

якщо одна GeoIC є підструктурою іншої, то вона є також її окремим випадком.

Доведення. Нехай структури $\varphi: X \rightarrow S$, $\psi: Y \rightarrow S$ і морфізм $\chi: X \rightarrow Y$ задовольняють умовами визначення. Якщо метод $\alpha: A \rightarrow S$ такий, що $\alpha \in S\varphi$, тобто для деякого морфізма $\beta: A \rightarrow X$ маємо $\alpha = \varphi \circ \beta$, то морфізм $\chi \circ \beta: A \rightarrow Y$ задовольняє рівності $\alpha = \psi \circ \chi \circ \beta$, звідки $\alpha \in S\psi$.

Обернене твердження, взагалі кажучи, не є вірним, однак воно є істинним у багатьох важливих частинних випадках.

Якщо перейти до розгляду формальної технології, то доцільно розглянути операцію композиції технологій, в якості прикладу того, як зовнішні операції, визначені на технологіях, зводяться до внутрішніх, що визначені на інформаційних структурах.

Визначення. Композиція двох технологій – це така технологія, яка перетворює метод α у метод β в тому і тільки в тому випадку, коли існує такий метод γ , що перша технологія перетворює α в γ , а друга – γ в β .

Для того, щоб це було можливо, будемо вважати, що в заданій категорії існують декартові квадрати. В [22] доведена теорема, що у заданій онтології звучить таким чином.

Теорема. Нехай $S \xleftarrow{\phi} X \xrightarrow{\sigma} S$ та $S \xleftarrow{\varphi} Y \xrightarrow{\tau} S$ – технології, а наступний вираз є декартовим квадратом:

$$\begin{array}{ccc} Z & \xrightarrow{\mu} & Y \\ \downarrow \lambda & & \downarrow \varphi \\ X & \xrightarrow{\sigma} & S \end{array} \quad (1)$$

Тоді технологія $S \xleftarrow{\phi \circ \lambda} Z \xrightarrow{\sigma \circ \mu} S$ є композицією технологій $S \xleftarrow{\phi} X \xrightarrow{\sigma} S$ та $S \xleftarrow{\varphi} Y \xrightarrow{\tau} S$.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Проведена формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації.

Наведені основні об'єкти та морфізми, що використовуються в системах обробки геопросторової інформації.

Представлена формальна модель геопросторових інформаційних структур.

Проведена формалізація операцій, що проводяться над геопросторовими інформаційними структурами.

Напрямок подальших досліджень є розробка теоретичних основ використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації у вигляді сукупності моделей, методів та інформаційних технологій побудови і використання геопросторових структур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Управлінські рішення: евристичність, креативність, транспарентність: Навчальний посібник. / Під ред. М.П.Бутка. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 428 с.
2. В.С.Філіпович Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків, заподіяних державі, за матеріалами багатозональної космічної зйомки. - Екологічна безпека та природокористування, № 4(20), 2015. – С. 92-97.
3. Shikhov, A.N., Cherepanova, E.S. and Ponomarchuk, A.I. (2014), Geoinformation systems: the use of GIS technologies in solving hydrological problems, a workshop, textbook. manual, Perm, 91 p.
4. Earth Observing System. High-Resolution Satellite Imagery. <https://eos.com/ru/products/high-resolution-images/>
5. Pustovarov, V. (2020), "Construction of information technology for development of knowledge base on identification of urban structures on digital space and aerial photographs in the urban environment monitoring", Advanced Information Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 70–73, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.3.08>.
6. Шипулін В.Д. Система земельного адміністрування: основи сучасної теорії: навч. Посібник / В.Д. Шипулін. — Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. — 220 с.
7. Методи та системи штучного інтелекту / А. С. Савченко, О. О. Синельніков. — К. : НАУ, 2017. — 190 с.
8. Стеценко І.В. Моделювання систем : навчальний посібник / І. В. Стеценко. — Черкаси : ЧДТУ, 2010. — 399 с.
9. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. — Мелітополь: ФОП Одногор Т.В., 2019. — 264 с.
10. Основи теорії прийняття рішень / О.І. Кушлик-Дивульська, Б. Р. Кушлик. — К., 2014. — 94 с.
11. Манько Д.Г. Технології формалізації права / Д.Г. Манько // Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. — 2013. — № 5. — С. 18–21.
12. Радейко Р.І. Формалізація як метод дослідження правових явищ / Р. І. Радейко. — Львів: Інститут права та психології Національного університету «Львівська політехніка». — 2014. — № 8 (10). — С. 86–93.
13. Ткаченко В.В. Підхід до збору інформації щодо екологічної обстановки при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного характеру / В.В. Ткаченко, О.Ю. Черданіченко, М.А. Вовк, С.І. Єршова // Проблеми інформаційних технологій. 2018. — № 23. — С. 219–226.
14. Маковейчук О. М. Інформаційна технологія побудови та використання візуальних інформаційних структур доповненої реальності. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2019. № 4 (10). С. 55–68.
15. Маковейчук О. М. Новий тип маркерів доповненої реальності. Сучасні інформаційні системи. 2019. № 3 (3). С. 43–48.
16. Маковейчук О. М. Науково-прикладні основи побудови стійких маркерів доповненої реальності. Системи управління, навігації та зв'язку. 2019. № 6 (44). С. 133–137.
17. С. П. Ковалёв, Теоретико-категорный подход к проектированию программных систем, Фундамент. и прикл. матем., 2014, том 19, выпуск 3, 111–170
18. Seely, R. A. G. (1984). "Locally cartesian closed categories and type theory". Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. 95 (1): 33–48. doi:10.1017/S0305004100061284
19. Цаленко М. С., Шульгейфер Е. Г. Основы теории категорий. — М.: Наука, 1974.
20. Adamek J., Herrlich H., Strecker G. Abstract and Concrete Categories. — New York: Wiley and Sons, 1990.
21. Маклейн С. Категории для работающего математика. — М.: Физматлит, 2004.
22. Жожикашвили А.В. Категорная технология создания и развития интеллектуальных систем, основанных на знании. Информационные процессы. 2016. – № 4 (16). С. 312–332.
23. Bartosz Milewski. Category Theory for Programmers: The Preface. Post Date: October 28, 2014 [Electronic resource]. URL: <https://bartozsmilewski.com/2014/10/28/category-theory-for-programmers-the-preface/> (Дата звернення: 19.01.2020).

Received (Надійшла) 31.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.02.2021

Formalization of technology of using geospatial structures in geospatial information processing systems

I. Butko

Abstract. The **subject matter** of the article are geospatial structures in geospatial information processing systems. The **goal** is to formalize the technology of using geospatial structures in geospatial information processing systems. The **tasks** are: analysis of the main tasks in making managerial decisions, formalization of the technology of using geo-spatial structures in geospatial information processing systems, specification of the main objects and morphisms used in geospatial information processing systems, presentation of the formal model of geospatial information structures, formalization of operations conducted on geospatial information structures. The **methods** used are: methods of category theory, probability theory, mathematical statistics, system analysis, mathematical apparatus of matrix theory. The following **results** are obtained. formalized technology of using geospatial structures in geospatial information processing systems, the main objects and morphisms used in geospatial information processing systems are presented, formalized model of geospatial information structures, formalized operations conducted on geospatial information structures. **Conclusions.** Formalization of technology of use of geospatial structures in systems of processing of geospatial information is carried out. The main objects and morphisms used in geospatial information processing systems are given. A formal model of geospatial information structures is presented. The formalization of operations carried out on geospatial information structures has been carried out. The directions of further research are development of theoretical foundations for the use of geospatial structures in geospatial information processing systems in the form of a set of models, methods and information technologies for the construction and use of geospatial structures.

Keywords: formalization, technology of use, geospatial structure, geospatial information, processing system, category theory.

МІЖЕТАПНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ОГЛЯДОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Анотація. В роботі проведено синтез та аналіз оптимальної структури обробки даних оглядових радіолокаційних систем спостереження, який показує, що завдяки створенню тимчасової інформаційної бази сигнальних даних на потрібну кількість оглядів радіолокаційної системи спостереження, в кожному елементі якої зберігаються сигнальні дані з показниками якості та параметри їх отримання, вдається здійснити міжетапну наскрізну оптимізацію обробки сигналів, первинної та вторинної обробки даних систем спостереження повітряного простору на основі критерія Неймана-Пірсона та з'являється можливість швидше формулювати підготовку інформаційних повідомлень у межах поточного інформування, що істотно впливає на якість прийнятого рішення. Наведені розрахунки показали, які є переваги в якості обробки даних первинних радіолокаторів в порівнянні з варіантом поєднання даних, який здійснюється на рівні прийняття рішень про виявлення повітряного об'єкта в кожному каналі обробки сигнальних даних, та показує неоднорідність якості прийняття рішення, що визначається як якістю, так і складом інформації, на основі якої приймаються рішення. Таким чином наведена структура призведе до якіснішого аналізу інформації про повітряний простір, який значною мірою забезпечує як безпеку країни, так і безпеку повітряного руху.

Ключові слова: обробка радіолокаційних даних, системи спостереження, критерій Неймана-Пірсона, міжетапна оптимізація обробки даних, радіолокаційні системи спостереження, об'єднання даних.

Вступ

Постановка проблеми й аналіз літератури. Система контролю повітряного простору значною мірою забезпечує як безпеку країни, так і безпеку повітряного руху. До основних процедур системи контролю повітряного простору відносяться: аналіз повітряної обстановки в зоні відповідальності та прийняття управлінських рішень. Рішення приймаються на основі аналізу інформації про стан повітряної обстановки в зоні відповідальності. Вірні рішення можливо прийняти тільки у тому випадку, коли є достатньо повна, точна, достовірна та безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління. Отже, якість прийняття рішення визначається як якістю, так і складом інформації, на основі якої приймаються рішення. Основним джерелом інформації про повітряну обстановку в системі контролю повітряного простору є первинний оглядовий радіолокатор (ПОР), обробка даних якого і є основою для прийняття рішень. Це зумовлює вимогу оптимізації обробки даних ПОР, яке зумовлює міжетапну оптимізацію виявлення траєкторії повітряного об'єкта (ПО).

В значній кількості наукових робіт [1-12] піднімаються питання оптимізації обробки даних ПО. В наведених роботах проведено систематичне введення в теорію, розробку та представлено останні результати досліджень технологій обробки радіолокаційних даних. У них описуються алгоритми, придатні для обробки радіолокаційних даних, які мають загальні математичні основи: вони засновані на динамічному моделюванні системи, фільтрації, статистичному вирішенні, оптимальне управління і теорії управління.

У роботах [7-12] розглянуті різні аспекти оптимальної обробки радіолокаційних сигналів та

даних. Показано, що підхід оптимізації обробки сигналів та даних пропонує істотне поліпшення характеристик в порівнянні з існуючим підходом до обробки радіолокаційних даних.

Запропоновані в роботах [8-11] алгоритми оптимізації продуктивності системи обробки радіолокаційних сигналів дозволяють прогнозувати продуктивність на етапі проектування, а також для об'єднання імовірнісних асоціацій Даних для багатопільового відстеження з використанням розподіленої архітектури відстеження. Роботи [12-13] присвячені спільній оптимізації обробки сигнальних даних і даних первинної обробки в інформаційній мережі первинних радіолокаторів.

Метою роботи є синтез оптимальної структури міжетапної обробки даних ПО та аналіз якості обробки даних запропонованою структурою, яка дозволяє здійснити міжетапну оптимізацію обробки даних.

Результати досліджень

1. Структура обробки даних оглядових радіолокаційних систем спостереження. Обробка даних ПОР – це приведення інформації, отриманої від ПОР, до виду можливого для використання. Система обробки даних ПО безпосередньо пов'язана з джерелами сигналів і забезпечує вирішення наступних інформаційних завдань: виявлення та вимірювання параметрів прийнятих сигналів і відсіювання завад; виявлення та вимірювання координат ПО; «зав'язки» виявлених сигналів у траєкторії та визначення параметрів траєкторій; обчислення згладжених та упереджених на фіксований відрізок часу координат ПО.

Складність структури обробки даних ПОР не дозволяє проводити формалізацію та аналіз її роботи в цілому, що потребує розбивки системи обробки

даних ПОР на декілька частин [1-3]. При цьому важливо відмітити, що послідовна процедура обробки даних ПОР приводить до неможливості здійснення міжетапної оптимізації обробки даних і, як наслідок, до зниження якості даних.

Рішення задач обробки даних ПОР призводить до поетапної обробки потоків даних котрі можливо розділити на наступні етапи: обробка сигналів ПОР, первинної обробки даних (ПОД) та вторинної обробки даних. Поточний же вектор стану ПО з відповідною матрицею точності вимірювання координат складається після закінчення ПОД.

Для виконання задач ПОД з ПОР на пристрій обробки даних надходять сигнальні дані, які несуть інформацію про виявлення сигналів, тобто $x_1 = 1$, коли в елементі часового дозволу відбулося перевищення порога; а коли ж не відбулося – то $x_1 = 0$.

Для сигнальної обробки інформації показниками якості інформаційного забезпечення може бути імовірність правильного виявлення сигналів

$$D_s = f[q_s, F_s = f(z_s) = const], \quad (1)$$

де q_s – відношення сигнал/шум, F_s – імовірність хибної тривоги виявлення сигналу, z_s – аналоговий поріг виявлення сигналу.

Оптимальність рішення задачі виявлення сигналів приймається, як правило, за критерієм Неймана-Пірсона, котрий зводиться до максимізації імовірності правильного виявлення сигналів при обмеженні на імовірність хибного виявлення. Ці дві імовірності і є показниками якості виявлення сигналів. Операції оцінки параметрів сигналів у загальному випадку оптимізується за критерієм мінімуму середнього ризику. Для ПОД показником якості інформаційного забезпечення споживача є імовірність правильного виявлення ПО $P = D_1$, котра є функцією

$$D_1 = f(N, C, F_1 = f(N, C, z_s) = const), \quad (2)$$

де N – пачка прийнятих сигнальних даних, C – цифровий поріг виявлення ПО.

Рішення про виявлення ПО з показниками якості F_1 та D_1 надходить на вимірювач координат ПО. Оцінка координат миттєвого положення ПО здійснюється одночасно з виявленням ПО. Задача вимірювача координат ПО полягає у тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів та одиниць оцінити оптимальним чином координати ПО.

Для вторинної обробки даних показником якості інформаційного забезпечення споживача є імовірність правильного виявлення траси ПО $P = D_2$:

$$D_2 = f(k/R, F_2 = f(k/R, N, C, z_s) = const), \quad (3)$$

де k/R – логіка прийняття рішення про виявлення траси ПО.

В алгоритмах виявлення траси ПО застосовується метод накопичення вхідних даних. Для вирішення сформульованої задачі виявлювач ПО обробляє дані, що надходять відповідно до деякого алгоритму. Алгоритм виявлення траси ПО зводиться до перевірки гіпотези H_0 про відсутність траси ПО проти альтернативної гіпотези H_1 про її наявності, тобто до утворення співвідношення правдоподібності і

порівняння цієї відносини з якимось заздалегідь заданим числом, яке обирається, виходячи з допустимої імовірності хибної виявлення траси о ПО.

Для вирішення сформульованої в роботі задачі вимірювач координат ПО повинен обробляти дані, котрі надходять у відповідності до деякого алгоритму. Оптимальний алгоритм вимірювання координат синтезується на основі критерія максимальної правдоподібності.

Для вторинної обробки даних показником якості інформаційного забезпечення споживача є імовірність виявлення траєкторії ПО $P = D_2$.

Наведені залежності (1-3) показують, що етапна реалізація обробки даних ускладнює наскрізну оптимізацію як виявлення, так і вимірювання координат ПО. Дійсно стабілізація імовірності хибного виявлення ПО повинна здійснюватися аналоговим порогом виявлення сигналу, що складно забезпечити в існуючих системах обробки даних.

2. Синтез оптимальної структури обробки даних оглядових радіолокаційних систем спостереження. Інформаційне забезпечення споживачів первинним оглядовим радіолокатором вимагає ОД на всіх етапах обробки. Припустимо, що радіолокатор має M елементів дозволу за дальністю та має можливість запам'ятовування дані на R оглядах. В цьому випадку спільна оптимальна обробка даних ПОР може здійснюватися: при об'єднанні рішень на рівні виявлення: ПО; трас ПО.

Проведемо синтез та аналіз структури ОД ПОР для варіантів обробки даних що розглядаються. При цьому будемо вважати, що мається сигнальні дані які надходять від ПОР за R кругових оглядів простору. В ПОР прийняті сигнали після оптимальної лінійної обробки та детектування порівнюються в пороговому пристрої з пороговою напругою котра визначає імовірність хибної тривоги. Після порогового пристрою на подальшу обробку поступають рішення тобто сигнальні дані. Таким чином, з ПОР споживачу видається сукупність сигнальних даних x_1 , з показниками якості виявлення яке визначається порогом та відношенням сигнал/шум сигналу, що приймається. При такій постановці питання виявлення траси ПО спостерігач має R матрицю сигнальних даних $\bar{X} = \|x_{ijr}\|$, де $\|x_{ijr}\| = 1$, коли в елементе часового розділення $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, r = \overline{1, R}$, котре відповідає просторовому розділенню що розглядається, відбулося перевищення порога; коли ж не відбулося – $x_{ijr} = 0$.

Для прийняття рішення про виявлення ПО при сумісній обробці на рівні сигнальних даних піддається обробці сукупність нулів та одиниць x_{ijr} . Зрозуміло, що x_{ijr} – випадкова величина, котра відповідає розподілу Бернуллі:

$$P(x_{ijr}) = P_{ijr}^{x_{ijr}} (1 - P_{ijr})^{1-x_{ijr}},$$

де P_{ijr} – імовірність перевищення порога в i -му часовому каналі обробки. При відсутності сигналу $P_{ijr} = F_{ijr}$ – імовірність хибної тривоги, а при наявності ($P_{ijr} = D_{ijr}$) – імовірність виявлення сигналу в ПОР.

Будемо рахувати що на вхід пристрою сумісної обробки усього масиву попередніх рішень, що приймаються надходить сукупність наведених вище імовірних величин. Сумісний розподіл імовірності усіх можливих комбінацій x_{ijr} як у відсутності, так і при наявності сигналу (гіпотези H_0 и H_1), тобто $P(x_{ijr} | H_0)$ та $P(x_{ijr} | H_1)$ довірливі, однак відомі. Для кожної конкретної сукупності x_{ijr} сформуємо відношення правдоподібія:

$$\Lambda = P(x_{ijr} | H_1) / P(x_{ijr} | H_0). \quad (4)$$

Порівняння відношення правдоподібія Λ з порогом котрий визначається за допустимою імовірністю хибної тривоги, забезпечує оптимальне за критерієм Неймана-Пірсона рішення про наявність чи відсутність сигналу x_{ijr} . Так як шуми в каналах часової обробки незалежні то можливо записати:

$$P(x_{ijr} | H_0) = \prod_{j=1, i=1, r=1}^{M, N, R} P(x_{ijr} | H_0) = \prod_{j=1, i=1, r=1}^{M, N, R} F_{ijr}^{x_{ijr}} (1 - F_{ijr})^{1-x_{ijr}}. \quad (5)$$

При дії сигналу перевищення порогів у каналах обробки - незалежні події. Тоді (4) можливо записати у наступному вигляді:

$$P(x_{ijr} | H_1) = \prod_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} P(x_{ijr} | H_1) = \prod_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} D_{ijr}^{x_{ijr}} (1 - D_{ijr})^{1-x_{ijr}}. \quad (6)$$

Враховуючи вирази (5) та (6) вираз (4) можливо записати у наступному вигляду

$$\Lambda = \frac{\prod_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} D_{ijr}^{x_{ijr}} (1 - D_{ijr})^{1-x_{ijr}}}{\prod_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} F_{ijr}^{x_{ijr}} (1 - F_{ijr})^{1-x_{ijr}}}. \quad (7)$$

Логарифмуючи вираз (7), отримаємо:

$$L = \ln \Lambda = \sum_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} x_{ijr} (\ln D_{ijr} - \ln F_{ijr}) + (1 - x_{ijr}) [(1 - \ln D_{ijr}) - (1 - \ln F_{ijr})].$$

Коли множники x_{ijr} позначити як

$$Q_{ijr} = \ln D_{ijr} - \ln F_{ijr} - \ln(1 - D_{ijr}) + \ln(1 - F_{ijr}) = \ln \left(\frac{D_{ijr}(1 - F_{ijr})}{(1 - D_{ijr})F_{ijr}} \right)$$

та відкинути доданки, що не залежать від x_{ijr} , то отримуємо оптимальний, за критерієм Неймана-Пірсона, алгоритм виявлення траси ПО при об'єднанні попередніх рішень всіх часових і просторових каналів обробки:

$$L = \sum_{i=1, j=1, r=1}^{M, N, R} Q_{ijr} x_{ijr} \stackrel{\leq}{>} C, \quad (8)$$

де поріг виявлення траси, котрий визначається імовірністю хибного виявлення траси ПО.

Алгоритм (8) отримано для випадку поєднання на рівні виявлення ПО.

Для випадку поєднання рішень на рівні виявлення трас алгоритм можливо записати як

$$L_1 = \sum_{i=1, r=1}^{M, R} Q_{ir} x_{ir} + \sum_{j=1}^N Q_j x_j \stackrel{\leq}{>} C. \quad (9)$$

В обох варіантах обробки даних імовірність виявлення трас ПО оптимізується за рахунок сумісної оптимізації виявлення сигналів, виявлення ПО та виявлення трас ПО, тобто здійснюється оптимізація всіх етапів обробки даних. Для цього повинна бути створена інформаційна база зберігання радіолокаційних даних на необхідне число кругових оглядів радіолокатора, в кожному елементі якої повинні зберігатися сигнальні дані з показниками якості їх отримання.

За виразами (8) та (9) можливо розрахувати імовірність виявлення траси ПО для різних значень відповідних величин та відповідного вирішального правила. При цьому слід зазначити, що для реалізації міжетапної оптимізації обробки даних у відповідності до алгоритмів (8) та (9) повинна бути створена тимчасова інформаційна база сигнальних даних, яка дозволить формулювати підготовку інформаційних повідомлень у межах поточного інформування. Для її функціонування необхідна структура збереження та швидкого доступу до даних з загальним обсягом пам'яті що дорівнює

$$P = M \cdot N \cdot R \cdot k,$$

де k - розрядність вагового коефіцієнта Q_{jr} .

3. Аналіз оптимальної структури обробки даних оглядових радіолокаційних систем спостереження На рис. 1 и 2 приведено залежності імовірності виявлення траси ПО $D = f(q, C, k / R, N = 15)$ для обох способів обробки даних (криві, позначені I для цього слід зазначити, що обробки) та різних порогів виявлення ПО та правил виявлення траси ПО при імовірності хибної тривоги виявлення траси ПО котра дорівнює 0,001.

Представлені залежності показують, що при малих порогових значеннях виявлення ПО $C=5$ кращий існуючий алгоритм обробки даних первинних оглядових радіолокаторів. Так при для логіки обробки 2/3 вигреш в імовірності виявленні ПО становить 0,1 відсоток, а для логіки 3/5 вигреш в імовірності виявлення становить 0,3 відсотка в порівнянні з другим алгоритмом. Однак при підвищенні цифрового порогу прийняття рішення про виявлення ПО ($C=8$) другий метод оптимізації виявлення більш кращий, тому що дозволяє отримати більшу імовірність виявлення траси ПО в порівнянні з існуючим. Дійсно при $q = 1.28$ імовірність виявлення траси ПО для обох логік обробки даних підвищується.

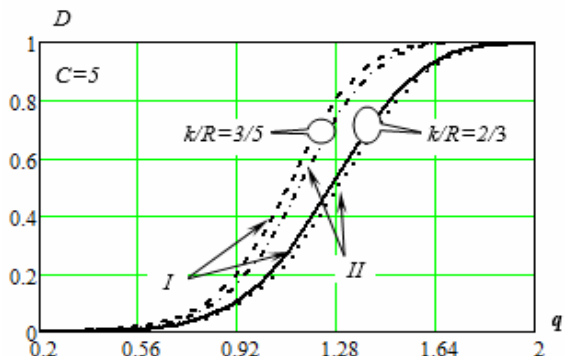


Рис. 1. Імовірність виявлення траси ПО

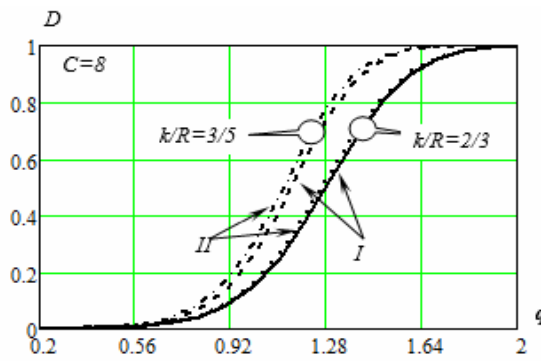


Рис. 2. Імовірність виявлення траси ПО

Висновки

В роботі отримана інформаційна структура обробки даних первинних радіолокаційних систем, яка

дозволила здійснити міжетапну оптимізацію обробки як сигнальних даних, так і даних первинної і вторинної обробки.

При цьому слід зазначити, що отримана структура спільної оптимальної обробки як сигнальних даних первинного радіолокатора, так і даних первинної і вторинної обробки дозволила реалізувати два способи обробки даних. Наведені розрахунки показали, що для способу обробки даних при якому поєднання даних здійснюється на рівні прийняття рішень про виявлення ПО в кожному каналі обробки сигнальних даних має деякі переваги в якості обробки даних первинних радіолокаторів в порівнянні з використовуваним в даний час варіантом поєднання даних. Все це дозволяє підвищити якість інформаційного забезпечення в системі контролю повітряного простору.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Farina A., Studer F.: Digital radar data processing, Radio i svyaz, Moscow 1993.
2. You, X. Jianjuan, G. Xin. Radar Data Processing with Applications. Publishing House of Electronics Industry. 2016. DOI: 10.1002/9781118956878.
3. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004. - 446 с.
4. Нахмансон Г. С., Акиншин Д. С. Обнаружение траекторий движущихся прямолинейно воздушных целей при вторичной обработке радиолокационной информации // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 5. С. 61–70. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-5-61-70
5. H. You, X. Jianjuan, G. Xin. Radar Data Processing with Applications. Publishing House of Electronics Industry. 2016. DOI: 10.1002/9781118956878.
6. Gyuejeong Lee, Seungeui Lee, Kwansung Kim, Nojun Kwak. Probabilistic Track Initiation Algorithm Using Radar Velocity Information in Heavy Clutter Environments. 2018 15th European Radar Conference (EuRAD) . DOI: 10.23919/EuRAD.2018.8546666
7. He You Xiu Jianjuan Guan Xin. Practical Application of Radar Data Processing. 2016. DOI: 10.1002 / 9781118956878.ch19
8. G.A. Ybarra; S.M. Wu; G.L. Bilbro; S.H. Ardalan; C.P. Hearn; R.T. Neece. Optimal signal processing of frequency-stepped CW radar data. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: 43, Issue: 1, Jan 1995) DOI: 10.1109/22.363002
9. Svyd, I., Obod, I., Maltsev, O., Maistrenko G., Zavolodko, G., Pavlova, D. Fusion of Airspace Surveillance Systems Data. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019
10. Svyd, I., Obod, I., Maltsev, O., Okachova, T., Zavolodko, G. Optimal request signals detection in cooperative surveillance systems. 019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019
11. D. B. Pavlova; G. E. Zavolodko; I. I. Obod; I.V. Svyd; O. S. Maltsev; L. F. Saikivska. Optimizing Data Processing in Information Networks of Airspace Surveillance Systems. 2019 10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)
12. Obod, I., Svyd, I., Maltsev, O., Vorgul O., Maistrenko, G., Zavolodko, G. Optimization of Data Transfer in Cooperative Surveillance Systems. 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T
13. Strelnytskiy A. A. Data processing optimization in the aerospace surveillance system network / A. A. Strelnytskiy, G. E. Zavolodko / V. A. Andrushevich // Telecommunications and Radio Engineering. - 2016. - № 75 (13). - P. 1193-1200.

Received (Надійшла) 25.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.01.2021

Inter-stage optimization of data processing of survey radar system of airspace

G. Zavolodko D. Pavlova

Abstract. Work describe a synthesis and analysis of the data processing optimum structure of radar survey systems, thanks to the creation of a temporary information base of signal data for the required number of inspections of the radar observation system, In each element of which signal data with quality indicators and parameters for their production are stored, it is possible to perform cross-stage optimization of signal processing, primary and secondary data processing of air surveillance systems on the basis of the Neumann-criterion Pearson and the possibility to formulate information messages faster within the scope of current information, which significantly affects the quality of the decision made. These calculations showed the advantages of primary radar data processing compared to the combination of data at the level of decision-making on the detection of a gliding object in each signal processing channel, and shows ambiguity in the quality of decision-making, both in quality and in the composition of the information on which decisions are based. In this way, the structure will lead to better analysis of information on air expanse, ensuring to a large extent both the security of the country and the safety of air traffic.

Keywords: radar data processing, surveillance systems, Neumann-Pearson criterion, inter-stage optimization of data processing, radar observation systems, data fusing.

С. П. Седаш

Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ЗМІНИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ТИПОВИХ ОПЕРАЦІЙ НА ТРЕНАЖЕРАХ

Анотація. Метою статті є розробка методу формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах фахівцями цивільної авіації. В роботі розроблено метод формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на комп'ютерно-тренажерних системах при підготовці фахівців цивільної авіації. Визначено, що основою формування навичок у людини є ітеративне навчання, результатом якого є високий рівень якості виконуваних дій із допустимими витратами часу, енергії та інших ресурсів. Для опису процесу ітеративного навчання визначена залежність між швидкістю формування типових навичок на тренажерах та кількістю виконаних вправ. Оцінка якості виконання типових операцій на тренажері здійснена на основі нечітких множин, якість виконання типової операції визначено за коефіцієнтом оволодіння, що обчислюється на основі процедури нечіткого виведення за методом Мамдані. Напрямами подальших досліджень є розробка комплексного методу та моделей автоматизованої системи формування навичок операторів складних систем у цивільній авіації.

Ключові слова: формування навичок, ітеративне навчання, фахова підготовка, комп'ютерні тренажерні системи, оцінка якості навчання, цивільна авіація, теорія нечітких множин, алгоритм Мамдані.

Вступ

На даний час в освітній галузі не існує єдиного загально визнаного науково обґрунтованого походження до використання інформаційних технологій для управління освітніми процесами та формування стійких навичок виконання типових операцій. З іншого боку, опублікована значна кількість досліджень у цій області, пов'язаних з рішенням локальних завдань.

Для рішення цих завдань створюються комп'ютерні засоби підтримки навчального процесу, тренажери, системи віртуальної реальності, системи дистанційного навчання, що призводить до лавинного, некерованого зростання кількості інформаційних ресурсів, в тому числі вузькоспеціалізованих підсистем, які характеризуються відсутністю єдиної освітньої методичної платформи. Тим не менш, загально визнаними є застосування комп'ютерних тренажерних систем для операторів складних систем, а для фахівців цивільної авіації використання інтелектуальних тренажерів є єдиним способом розвитку стійких навичок у виконанні типових та унікальних операцій. Серйозною проблемою використання тренажерів є формування зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій, оскільки процес засвоєння знань та формування навичок залежить від конкретної людини, є предметом вивчення в педагогічній та психологічній галузях науки та характеризується значним ступенем невизначеності. В той же час система управління підготовкою оператора вимагає формалізації процесу формування навичок заданої якості, що і визначає актуальність дослідження, наведеного в даній статті.

Метою статті є розробка методу формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах фахівцями цивільної авіації.

Аналіз літературних джерел. Питанню використання тренажерної техніки в процесі підготовки фахівців цивільної авіації (пілотів, диспетчерів управління повітряним рухом, авіаційно-технічного

складу, операторів безпілотних авіаційних комплексів), як операторів складних систем, присвячено достатня кількість публікацій. В першу чергу слід відмітити роботи А.Є. Яковенка [1], І.І. Верещагіна [2], С.П. Борсука [3], А.Н. Горенкова [4] С.М. Неділька, А.С. Пальоного [5], Dignum, V., Dignum, F. [6], в яких розглядається питання побудови адаптивних тренажерних систем для навчання авіа ції фахівців, принципів їх побудови. Окремо можна виділити роботи [7], які присвячені розвитку компетенцій навчаємих, в тому числі і за рахунок створення організаційних системи підготовки. В той же час питанню розвитку та оцінки якості виконання типових операцій на тренажерах в даних роботах не знайдено. Необхідно звернути увагу на роботи Столбової І.Д. [8], Гітмана М.Д. [9], Полевцікова І.Д. [10], в яких окремими елементами розглядається питання підготовки операторів складними механізмами (переважно на виробництві) та положення яких взяті як базові для даного дослідження.

Основний матеріал

Дослідження у даній статті спираються на результати роботи [11]. Розроблена у [11] модель системи управління вимагає побудови плануємої (розрахункової) траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій при багаторазовому повторенні вправи на основі математичного моделювання ітеративного навчання.

Рекомендована швидкість формування типових навичок на тренажерах $\gamma_{нов}$, визначає заплановану траєкторію зміни інтегрального показника якості, який обчислюється за формулою:

$$\gamma_{нав.} = \begin{cases} -n(1 - K_{овол.}^{пор.}) / N_{нав.}, & K_{овол.}^{пор.} < 1; \\ -\ln(1 - K_{овол.}^{пор.} + \varepsilon_{овол.}^{пор.}) / N_{нав.}, & K_{овол.}^{пор.} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

де $N_{нав.}$ – кількість правильно виконаних типових операцій; $K_{овол.}^{пор.}$ – пороговий коефіцієнт оволодіння

ня; $\varepsilon_{\text{овол.}}^{\text{пор.}} \in [0;1]$ – допустиме відхилення від $K_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$ при розрахунках $\gamma_{\text{нав.}}$.

По завершенню вправи обчислюється показник:

$$K_{\text{овол.}}^{\text{екс.}} = 1 - e^{-\gamma_{\text{нав.}} \cdot N_{\text{вик.}}}, \quad (2)$$

що описує розрахункове значення інтегрального показника якості, яка повинна бути досягнуто після виконання вправи $N_{\text{вик.}}$ раз і необхідне для визначення відхилення (рис. 1) фактичної траєкторії зміни інтегрального показника якості від запланованої (розрахункової).

Дана величина використовується для визначення підмножини можливих відповідних впливів при повторному виконанні вправи.

Значення $K_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$, $\varepsilon_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$, $N_{\text{нав.}}$, використовуватися для обчислення $\gamma_{\text{нов.}}$, можуть перераховуватися автоматично на основі накопиченої статистики про результати навчання операторів за певний проміжок часу. Далі необхідно обґрунтувати порядок отримання формули, яка використовується для обчислення рекомендованої швидкості формування навичок (швидкості навчання) $\gamma_{\text{нов.}}$.

Як відомо, навчання являє собою процес придбання індивідуального досвіду [4, 10]. У статті розглядається ітеративне навчання, під яким розуміють багаторазове повторення деякою навчальною системою певних дій для досягнення поставленої мети при незмінності зовнішніх умов. В основі формування навичок у людини лежить саме ітеративне навчання. Розглянемо результативний аспект ітеративного навчання, і, як наслідок, результативні характеристики ітеративного навчання, тобто оператор повинен досягти необхідного результату, який представляє собою високий рівень якості виконуваних дій із допустимими витратами часу, енергії та інших характеристик. Результативні характеристики навчання перебувають у залежності як від сталості зовнішніх умов (тобто параметрів навколишнього середовища), так і сталості мети навчання. Одночасне дотримання сталості зовнішніх умов і мети навчання необхідно, щоб зрівняти результати ітеративного навчання в різні моменти часу, тобто для використання кількісного опису процесу ітеративного навчання.

Основною результативною характеристикою ітеративного навчання є критерій рівня навчання, у якості якого можуть виступати наступні характеристики: часові (наприклад, час виконання деякої дії або операції); швидкісні (наприклад, швидкість реакції, швидкість руху, тобто величини, зворотні часу); точнісні (наприклад, величина помилки в сантиметрах, градусах, кількість помилок); інформаційні (наприклад, обсяг матеріалу, що заучується).

Кількісний опис ітеративного навчання здійснюється з використанням кривих навчання - графі-

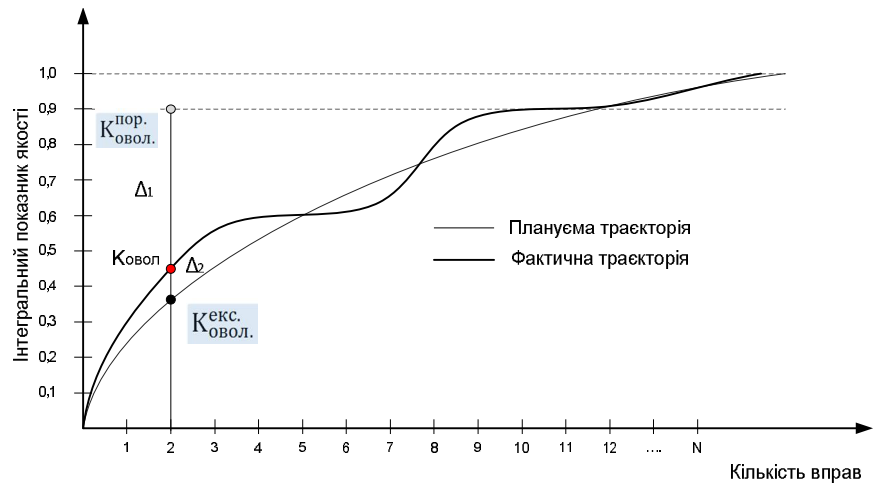


Рис. 1. Плануєма та розрахункова траєкторії (приклад)

ків, які показують залежність критерію рівня навчання від числа ітерацій (повторень) або від часу при сталості зовнішніх умов [1]. Важливою особливістю ітеративного навчання є уповільнено-асимптотичний характер кривих навчання. Це значить, що крива монотонна та асимптотично прагне до деякої межі, при цьому швидкість зміни критерію рівня навчання зменшується згодом. Дана закономірність свідчить про наявність загальних механізмів навчання в людей. Як правило, криві ітеративного навчання представляють експонентні криві.

У загальному виді експонентна крива навчання представляє одну із двох залежностей:

$$\begin{aligned} x(t) &= x^\infty + (x^0 - x^\infty)e^{-\gamma t}, \quad t > 0, \\ x_n &= x^\infty + (x^0 - x^\infty)e^{-\gamma n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (3)$$

де t – час навчання, n – кількість спроб з моменту початку навчання (передбачається, що навчання починається в момент часу $t = 0$, $x(t)$, (x_n) – значення результативної характеристики навчання в момент часу t (на n – тій ітерації), x^0 – початкове значення результативної характеристики навчання (яке відповідає моменту початку навчання), x^∞ – кінцеве значення результативної характеристики навчання (величина, до якої крива навчання асимптотично прагне, тобто межа навчання), γ – швидкість навчання (ненегативна константа, що визначає швидкість зміни кривій навчання розмірність якої зворотна часу або кількості ітерацій). Частковими залежностями, отриманими на основі формули (3), є такі:

$$x(t) = e^{-\gamma t} \quad (4)$$

$$x(t) = 1 - e^{-\gamma t} \quad (5)$$

Залежність (4) може показувати, наприклад, величину помилки, яка монотонно убуває. Залежність (5) може інтерпретуватися як "рівень навченості", який монотонно зростає.

Існують різні моделі ітеративного навчання, більшість із яких створюються за аналогією з різними явищами та процесами, що відбуваються в системах живої або неживої природи [10]. Але в статті була обрана найбільш проста залежність, показана у формулі (4). З одного боку, ця залежність відображає

тільки загальну тенденцію процесу навчання, однак через слабку формалізованість завдання управління процесом формування навичок з використанням тренажерів, така залежність підходить найкраще, оскільки вимагає для свого застосування тільки отримані значення показників $K_{овол.}^{ноп.}$, $N_{нав.}$, $\varepsilon_{овол.}^{ноп.}$. При сталості зовнішніх умов можна описати процес ітеративного навчання оператора кількісно як теоретичну залежність комплексного коефіцієнта оволодіння від числа виконань деякої вправи на основі (5):

$$K_{овол.}^{теор.} = 1 - e^{-\gamma N_{впр.}}, \quad (6)$$

де $K_{овол.}^{теор.}$ – теоретичне значення комплексного коефіцієнта оволодіння по завершенні виконання вправи $N_{впр.}$ раз; γ – швидкість навчання, швидкість, яка представляє, зміни кривої навчання, що i є ненегативною константою; $N_{впр.}$ – кількість виконань вправи з моменту початку навчання. На основі формули (6) була виведена формула (1) для розрахунків рекомендованої швидкості формування навички $\gamma_{нов.}$

Виконаємо оцінку якості виконання типових операцій на тренажері на основі нечітких множин. Якість виконання типової операції визначимо як ступінь відповідності нормативам за допомогою обчислення коефіцієнтів оволодіння. Значення коефіцієнтів оволодіння за окремими показниками якості

$$\forall K_r^{mрm} \in M_{mрm}, i \forall K_s^{\partialин} (t_j) \in M_{\partialин}$$

обчислюються, головним чином, на основі процедури нечіткого виведення за методом Мамдані. Для зіставлення кожного показника коефіцієнта оволодіння будеться система продукційних правил.

Нормативи задаються із застосуванням нечітких множин як термів лінгвістичних змінних системи правил. Застосування нечіткого виведення обумовлене неповнотою вихідної інформації про нормативи, що можливо з залученням експертів (організаторів навчання). Розроблений метод оцінювання якості виконання вправи, заснована на застосуванні нечітких вимірів. Процес обчислення

$$\forall K_r^{mрm} \in M_{mрm}, i \forall K_s^{\partialин} (t_j) \in M_{\partialин}$$

представлений низкою кроків.

На кроці 1 для зіставлення кожному показнику якості коефіцієнта оволодіння будеться множина нечітких правил-продукцій. Розглянемо приклад обчислення коефіцієнта оволодіння для показника якості "кут відхилення вантажу від вертикальної осі стріли" (у градусах).

На кроці 2 встановлюються значення для побудови вхідних лінгвістичних змінних, які використовуються у правилах:

$$M_{наб.} = \left\{ P_i^{2p} \mid i = \overline{1, N_{якос.}} \right\} -$$

множина вихідних даних про значення показників якості. Тут кортеж

$$P_i^{наб.} = \left\langle \begin{matrix} P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max}, P_{доб.}^{\min}, P_{доб.}^{\max}, \\ P_{зад.}^{\min}, P_{зад.}^{\max}, P_{незад.}^{\min}, P_{незад.}^{\max}, \Delta P \end{matrix} \right\rangle$$

представляє дані про межі відрізків $\left[P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max} \right]$, $\left[P_{доб.}^{\min}, P_{доб.}^{\max} \right]$, $\left[P_{зад.}^{\min}, P_{зад.}^{\max} \right]$, $\left[P_{незад.}^{\min}, P_{незад.}^{\max} \right]$ зіставлених з відмінним, добрим, задовільним та незадовільним значеннями i -го показника якості відповідно, а також про допустиме відхилення ΔP від правої та лівої меж відрізків. Параметри кортежів P_i^{2p} є основою для функцій приналежності термів вхідних лінгвістичних змінних вигляду:

$$f_T = \begin{cases} 0, & x \leq P_{відм.}^{\min} - \Delta P; \\ \left(x - P_{відм.}^{\min} + \Delta P \right) / \Delta P, & x \in \left[P_{відм.}^{\min} - \Delta P, P_{відм.}^{\min} \right]; \\ 1, & x \in \left[P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max} \right]; \\ \left(P_{відм.}^{\max} + \Delta P - x \right) / \Delta P, & x \in \left[P_{відм.}^{\max}, P_{відм.}^{\max} + \Delta P \right]; \\ 0, & x \geq P_{відм.}^{\max} + \Delta P, \end{cases} \quad (7)$$

Трапецієподібні функції приналежності, що задаються аналітично вираженнями виду (7), широко використовуються в наукових дослідженнях Застосування за замовчуванням тільки чотирьох термів засноване на широкому використанні 5-бальної системи оцінювання в освіті (звичайно без оцінки "1"). Однак, у настойках тренажеру викладачем може бути встановлене більше число термів для підвищення точності обчислень.

На кроці 3 встановлюється кортеж $K_{наб.}$, що містить такі складові: відмінне $K_{відм.}$, добре $K_{доб.}$, задовільне $K_{зад.}$ та незадовільне $K_{незад.}$ значення коефіцієнта оволодіння. Параметри кортежу є основою для вихідних лінгвістичних змінних і відповідають термам у вигляді одноточкових множин:

$$\left\{ \langle K_{відм.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{доб.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{зад.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{незад.}, 1 \rangle \right\}.$$

На кроці 4 з використанням алгоритму Мамдані (який отримав найбільше застосування в системах нечіткого виведення) здійснюється нечітке виведення, в результаті чого обчислюються коефіцієнти оволодіння по кожному показнику:

$$K_r^{mрm} = f_{овол.}^{mрm} \left(P_r^{mрm}, P_r^{2p}, K_{наб.} \right); \quad (8)$$

$$K_s^{\partialин} (t_j) = f_{овол.}^{\partialин} \left(P_s^{\partialин} (t_j), P_s^{2p}, K_{наб.} \right),$$

де $P_r^{2p} \in M_{наб.}$ і $P_s^{2p} \in M_{наб.}$.

На першому етапі алгоритму Мамдані (фазифікація) встановлюється відповідність між чисельним значенням кожної вхідної змінної системи нечіткого виведення значенням функції приналежності вхідній лінгвістичній змінній.

Етап агрегування підумов у нечітких правилах продукцій є процедурою знаходження ступені істинності умов за кожним із правил. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінний від нуля, є активними та використовуються для подальших розрахунків. Етап активізація висновків у нечітких правилах продукцій – це процес знаходження ступені істинності кожного з висновків правил.

Акумуляція висновків нечітких правил продукцій – це знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

Етап дефазифікації вихідних змінних представляє процедуру знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. На цьому етапі коефіцієнт оволодіння, що відповідає деякому j -му показнику якості, буде розраховуватися як центр ваги для одноточкових множин за формулою:

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (9)$$

де n – число одноточкових (одноелементних) нечітких множин, кожне з яких характеризує єдине значення розглянутої вихідної лінгвістичної змінної.

Вихідні дані для побудови функцій приналежності можуть перераховуватися автоматично на основі статистики про результати навчання операторів на тренажерах за певний проміжок часу.

Для деяких показників якості допустимо, коли нечіткі множини фактично не використовуються.

Висновки

В статті на підставі розробленої моделі автоматизованого управління формуванням навичок у операторів складних систем розроблено метод формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах, основною відмінністю якого є застосування теорії нечітких множин для опису процесу ітеративного навчання отримання залежності швидкості формування типових навичок на тренажерах від кількості виконаних вправ, що визначає заплановану траєкторію зміни інтегрального показника якості.

Напрямами подальших досліджень є розробка комплексного методу та моделей автоматизованої системи формування навичок операторів складних систем у цивільній авіації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковенко А.Е., Нарожный А.В., Гогунский В.Д. Стратегия принятия решений в условиях адаптивного обучения // Східно – Європ. журн. передових технологій. — Харків: Технол. центр, 2005. – № 2/2 (14) . – С. 105 - 110.
2. Верещагін І. І. Автоматизований синтез і моделі гнучких комп'ютерних професійних тренажерів широкого призначення [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Верещагін Ігор Іванович ; НАН України, М-во освіти і науки України, Міжнар. науков.-навч. центр інформ. технологій та систем. – К., 2007. – 20 с.
3. Борсук С. П. Адаптивне навчання операторів на функціональному тренажері [Текст] : автореф. дис. канд. тех. наук : 05.07.14 / Борсук Сергій Павлович; Нац. авіац. ун-т. – К., 2011. – 23 с.
4. Горенков А.Н. Современные тренажёрные и моделирующие комплексы в системе профессиональной подготовки управления воздушным движением // Транспортное дело, 2016. – № 4. – С. 70-73.
5. Неділько В.М. Проблеми побудови системи адаптивної тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / В. М. Неділько, А. С. Пальоний, К. Ю. Сурков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2017. – № 4. – С. 64–72.
6. Dignum, V., Dignum, F. Modelling agent societies: co-ordination frameworks and institutions. In: Brazdil, P., Jorge, A. (eds.) Progress in Artificial Intelligence: Knowledge Extraction, Multi-agent Systems, Logic Programming, and Constraint Solving, LNAI 2258, Springer, 2001. – pp. 191-204.
7. Wickens, C. D. Effectiveness of Part-Task Training and Increasing-Difficulty Training Strategies: A Meta-Analysis Approach [Електронний ресурс] / C.D. Wickens, S. Hutchins, T. Carolan and J. Cumming // Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, July 2012.
8. Столбова И.Д. Адаптивное управление качеством предметной подготовки в техническом вузе на основе компетентностного подхода (на примере подготовки студентов): автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.13.10. М., 2012.
9. Гитман М.Б., Данилов А.Н., Столбов В.Ю. Оценка уровня сформированности компетенций выпускника вуза // Открытое образование, 2014. – № 1(102) . – С. 24-31.
10. Fayzakhmanov R., Polevshchikov I., Polyakov A. Computer-aided Control of Sensorimotor Skills Development in Operators of Manufacturing Installations // Proc. of the 6th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT), Koethen (Germany), 13 March, 2018. – Vol. 6. – P. 59-65.
11. Седаш С.П. Модель автоматизованого управління формуванням навичок у операторів складних систем / С.П. Седаш, О.О. Возний // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 3(63). – С. 98-103.

Received (Надійшла) 12.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Method for forming the trajectory of changing the integral indicators of the quality of the performance of typical operations on the simulator

S. Siedash

Abstract. The purpose of the article is to develop a method of forming a trajectory of change of the integrated indicator of the quality of performance of standard operations on simulators by civil aviation specialists. In this work, a method has been developed that allows one to determine the dependence of the rate of formation of typical skills on computer training systems on the number of exercises performed, determines the planned trajectory of changes in the integral quality indicator. Evaluation of the quality of performing typical operations on the simulator is determined on the basis of fuzzy sets, the quality of performing a typical operation is determined by the mastery rate, calculated on the basis of the fuzzy inference procedure using the Mamdani method. Areas of further research are the development of a comprehensive method and models of automated system of skills development of operators of complex systems in civil aviation.

Keywords: skill formation, iterative learning, computer training systems, education quality assessment, civil aviation, fuzzy set theory, Mamdani's algorithm.

Управління в складних системах

УДК 621.317.7

doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.031

В. В. Борщ, О. І. Вервейко, П. Л. Аркушенко¹, О. П. Флорін²

¹ Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

² Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ДОПУСКУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ДО ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. Програмне забезпечення застосовується у більшості сучасних засобів вимірювальної техніки. Може бути вбудованим, автономним, встановленим на комп'ютер, що є складовою частиною засобу вимірювальної техніки, на який покладено завдання щодо отримання вимірювальної інформації щодо кількісних характеристик при проведенні випробувань. При проведенні робіт з оцінки відповідності сучасних виробів ОВТ на відповідність тактико-технічному завданню замовника, вимоги щодо метрологічного забезпечення (МлЗ) істотно зросли через значне зростання вимог до показників точності визначення параметрів ОВТ; постійне збільшення обсягу й складності вимірювань; підвищення вимог до оперативності та своєчасності вимірювань, швидкодії засобів вимірювань і контролю; необхідність застосування, в ряді випадків, складних ЗВТ, з високими метрологічними характеристиками, а іноді і унікальних та/або заснованих на нових фізичних принципах. Інтеграція України в світові та європейські структури, у тому числі в НАТО та зростання вимог до МлЗ обумовлює актуальність вдосконалення і/або уточнення вимог до МлЗ випробувань, зокрема до допуску до випробувань ЗВТ з ПрЗ, кількість яких останнім часом значно зросла. Мета статті полягає у аналізі нормативної документації та нормативно-правових актів України у сфері метрології та метрологічної діяльності з урахуванням останніх змін та обґрунтування на його основі комплексу заходів щодо допуску засобів вимірювальної техніки з програмним забезпеченням до випробувань виробів озброєння та військової техніки. Проведено аналіз нормативної документації України та рекомендацій міжнародних метрологічних організацій щодо вимог до засобів вимірювальної техніки з програмним забезпеченням. Визначено основні узагальнені вимоги, виконання яких доцільно проконтролювати при прийнятті рішення про допуск засобів вимірювальної техніки до експлуатації або випробувань. Виділено загальні правила допуску засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) з програмним забезпеченням (ПрЗ) до випробувань виробів озброєння та військової техніки. Для випробувань означених програмних продуктів визначено регламентовані характеристики, а також їх можливі рівні. Визначено специфічні вимоги для ЗВТ з ПрЗ.

Ключові слова: програмне забезпечення засобів вимірювальної техніки, випробування програмного забезпечення, технічні регламенти, види програмного забезпечення, випробування, вимоги до програмного забезпечення.

Постановка проблеми

У практичній більшості сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), в тому чи іншому вигляді, присутнє програмне забезпечення (ПрЗ). Воно може бути вбудованим, автономним, встановленим на комп'ютер, що входить до складу системи. Використання ПрЗ для обробки вимірювальної інформації є невід'ємною частиною отримання кінцевих результатів вимірювань. Проте, використання ПрЗ, без визначення його точносних характеристик, пов'язане з ризиком отримання недостовірних результатів. Тому в керівництві з програмного забезпечення WELMES 7.1, розробленому ще в 2000 році міжнародною організацією “Європейське співробітництво в сфері законодавчої метрології” відзначається: “випробування тільки метрологічних характеристик приладу без належної уваги до програмного забезпечення, яке керує цим приладом, більше неприйнятно, тому для більшості сучасних засобів вимірювань, керованих мікропроцесором, або приладом на базі комп'ютера, програмне забезпечення та його цілісність є суттєвими факторами, що визначають їх метрологічні властивості і надійність” [1, 2].

Приймання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з розробки і модернізації нових зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) здійснюють, зокрема, на підставі позитивних результатів випробувань, однією з основних цілей яких є отримання повної та достовірної вимірювальної інформації про параметри та характеристики зразків ОВТ, режимів їх функціонування, факторів впливу і інших умов випробувань. Одним з основних видів забезпечення випробувань ОВТ є метрологічне забезпечення (МлЗ), при здійсненні якого вирішується проблема правильного та обґрунтованого допуску ЗВТ до випробувань [3, 4].

Актуальність дослідження. Останнім часом Україна для інтеграції в світові та європейські структури веде інтенсивні роботи з адаптації нормативних документів та нормативно-правових актів до зазначених документів цих структур. Так, станом на 01.02.2021 року, розроблено та впроваджено велику кількість стандартів: 9270 стандартів ISO, 3019 стандартів ІЕС, 164 стандарти OIML, 164 стандартів CEN тощо.

Розроблено та впроваджено в дію сотні документів, які мають помітний вплив на МлЗ. Проте в

ряді нормативних документів по МлЗ останні зміни в сфері метрології та метрологічної діяльності не враховують.

Євроатлантичний курс України потребує, зокрема, створити “систему державного гарантування якості продукції оборонного призначення” на основі “еквівалентів публікацій (стандартів) НАТО серії AQAR з питань забезпечення/гарантування якості продукції оборонного призначення” [5], що дозволить підвищити обороноздатність держави, боєздатність та боєготовність Збройних Сил України та інших сил оборони.

При випробуваннях сучасних зразків виробів ОВТ вимоги щодо МлЗ істотно зросли через значне зростання вимог до показників точності визначення параметрів ОВТ; постійне збільшення обсягу й складності вимірювань; підвищення вимог до оперативності та своєчасності вимірювань, швидкодії засобів вимірювань і контролю; необхідність застосування, в ряді випадків, складних ЗВТ, з високими метрологічними характеристиками, а іноді і унікальних та/або заснованих на нових фізичних принципах.

Інтеграція України в світові та європейські структури, у тому числі в НАТО та зростання вимог до МлЗ обумовлює актуальність вдосконалення і/або уточнення вимог до МлЗ випробувань, зокрема до допуску до випробувань ЗВТ з ПрЗ, кількість яких останнім часом значно зростає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основні вимоги до ЗВТ з ПрЗ регламентовані стандартом ДСТУ 7363 [6], який розроблений з урахуванням міжнародних нормативних документів. Однак в даний час при проведенні випробувань виробів ОВТ у ряду фахівців виникають сумніви в необхідності та обґрунтованості застосування цього стандарту, адже аналіз всіх його вимог при оформленні допуску ЗВТ до випробувань є необґрунтованим і, до того ж, досить трудомістким.

У статті [7] відзначається, що використання ПрЗ ЗВТ без визначення його характеристик точності пов'язано з ризиком отримання недостовірних результатів вимірювань. Розглянуті методики атестації Національної фізичної лабораторії Сполученого Королівства та деякі особливості методик атестації, що застосовують в Росії. Сформульовані основні положення програми розробки і впровадження в метрологічну практику атестації ПрЗ ЗВТ.

Вимоги до ПрЗ ЗВТ і його перевірки, як зазначено в статті [8], регламентовані документами міжнародної (OIML D 31 – 2008), європейської (WELMEC 7.2) та регіональної (COOMET R/LM/10:2004) організацій з метрології, України (РМУ 021-2006, який скасований у 2016 році) та Росії (МІ 3286 -2010, статус якого в Україні не визначений). Зроблено висновок, що якість і надійність ПрЗ є істотними факторами, що визначають метрологічні властивості і надійність ЗВТ.

Робота [9] присвячена аналізу семи структур ЗВТ з ПрЗ, типів ПрЗ і проведено оцінку можливостей доступу до нього. Показано, що різні структури ЗВТ потребують відповідної перевірки залежно від

можливості доступу до ПрЗ. Метрологічну перевірку ПрЗ ЗВТ з різними структурами запропоновано проводити по застарілій версії керівництва WELMEC 7.2.

При цьому українські стандарти і нормативні документи не розглянуті.

Актуальність проблеми метрологічного забезпечення вимірювальних систем показано в статті [10]. Розглянуто необхідність перевірки і проблема встановлення вимог до ПрЗ ЗВТ, основні чинники для перевірки ПрЗ; перелік міжнародних і російських нормативних документів, що встановлюють вимоги до ПрЗ. Наведено вимоги на основі Керівництва WELMEC 7.2 і Вимог COOMET R/LM/10:2004.

Основний недолік розглянутих статей полягає у відсутності аналізу діючих нормативних документів України щодо ПрЗ ЗВТ.

Мета статті полягає у аналізі нормативної документації та нормативно-правових актів України у сфері метрології та метрологічної діяльності з урахуванням останніх змін та обґрунтування на його основі комплексу заходів щодо допуску ЗВТ з ПрЗ до випробувань виробів ОВТ.

Виклад основного матеріалу

В Україні для випробування програмного забезпечення ЗВТ застосовують стандарт “ДСТУ 7363:2013 Метрологія. Програмне забезпечення засобів вимірюваної техніки. Загальні технічні вимоги” [6], який розроблений з урахуванням вимог “Рекомендации COOMET R/LM/10:2004. Програмное обеспечение средств измерений. Общие технические требования” та “WELMEC 7.2. Issue 1. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC).”

COOMET являє собою Євроазіатське співробітництво державних метрологічних установ із 21 країни, включаючи і Україну. Рекомендації COOMET R/LM/10:2004 відповідно до сфери застосування:

– встановлюють мінімально необхідні вимоги до ПрЗ з вимірювальними функціями, а також критерії, що визначають обсяг випробувань ПрЗ з метою його затвердження;

– обов'язкові для застосування розробниками ЗВТ з ПрЗ і організаціями, які проводять випробування таких ЗВТ;

– призначені для застосування організаціями, які уповноважені Національним органом з метрології на проведення випробувань з метою затвердження типу ЗВТ.

WELMEC являє собою організацію по співпраці у сфері законодавчої метрології Західної Європи.

В склад організації входять 37 держав. Україна в склад організації не входить, але використовує документи WELMEC при розробці національних стандартів.

Керівництво WELMEC 7.2 [11]:

– містить рекомендації, які стосуються засобів вимірювальної техніки, що оснащені ПрЗ;

– адресовано виробникам засобів вимірювальної техніки та організаціям, відповідальним за оцінку їх відповідності;

– містить структурований набір блоків вимог для різних конфігурацій засобів вимірювальної техніки (базових та на основі інформаційних технологій);

– розрізняє вимоги в залежності від одного з шести класів ризику.

Питання програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки розглядають ще в двох нормативних документах WELMEC – WELMEC 2.3 [12] і WELMEC 7.1 [2].

Однак в WELMEC 2.3 розглядають тільки неавтоматичні прилади для зважування, а WELMEC 7.1 в даний час носить в основному інформаційний характер, тому ці документи для цілей даної роботи особливого значення не мають.

В даний час, в ряді випадків, виникають спірні ситуації через обґрунтованість застосування стандарту ДСТУ 7363, оскільки у сфері його застосування вказано, що стандарт поширюється на ПрЗ під час проведення державних приймальних випробувань та під час метрологічної атестації ЗВТ, які скасовані у 2016 році новою редакцією Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [13]. Поява цього закону обумовлена інтенсивними кроками України по інтеграції в світові та європейські структури, що потребувало врахування документів і рекомендацій Міжнародної організації із законодавчої метрології, директив ЄС, документів Метричної конвенції, Міжнародної організації з акредитації лабораторій, угоди СОР та угоди про технічні бар’єри в торгівлі.

Нова редакція Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” передбачає, що: ЗВТ “повинні мати захист від вільного доступу до програмного забезпечення з метою запобігання несанкціонованому втручання”; обов’язкову та на добровільних засадах оцінку відповідності вимогам технічних регламентів на ЗВТ, які застосовують у сфері та поза сферою законодавчо регульованої метрології відповідно.

Відповідність продукції вимогам технічних регламентів може бути забезпечена шляхом застосування національних стандартів та/або інших технічних специфікацій та/або нормативних документів, посилаючись на які містяться у “Переліках національних стандартів для цілей застосування технічних регламентів” і “Переліках посилань на нормативні документи Міжнародної організації законодавчої метрології”.

Ці переліки розміщує на своєму офіційному веб-сайті центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності (на даний час це Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України).

В Україні діють 82 технічні регламенти, три з яких призначені для оцінки відповідності ЗВТ [14] [15] [16]. Виділимо в цих технічних регламентах вимоги до ПрЗ засобів вимірювальної техніки, під-

готовки, проведення та оформлення результатів його випробувань:

– ПрЗ, яке критичне для метрологічних характеристик, повинно бути ідентифіковане як таке та захищене. Його ідентифікація повинна легко забезпечуватися ЗВТ. Докази втручання повинні бути доступні протягом визначеного періоду часу;

– метрологічно значиме ПрЗ повинно бути ідентифікованим і не повинно піддаватися неприпустимому впливу додаткового програмного забезпечення;

– ПрЗ, яке критичне для метрологічних характеристик, повинне бути належним чином захищено від випадкового або навмисного втручання;

– технічна документація, яку подають на оцінку відповідності, повинна відображати у разі потреби опис загальної інформації щодо ПрЗ, які пояснюють його характеристики і функціонування;

– для оцінки відповідності ЗВТ, що містять програмний продукт, виробник може вибрати такі процедури оцінки відповідності (та їх комбінації): В + D, або В + F, або G, або H1, або F1, які описані в технічних регламентах на ЗВТ;

– у сертифікаті перевірки типу, якій видають за позитивними результатами оцінки відповідності, повинні бути вказані заходи, необхідні для забезпечення ідентифікації ПрЗ, а також повинна міститися інформація, яка дає змогу оцінювати відповідність виготовлених ЗВТ затвердженому типу і здійснювати контроль під час експлуатації.

Технічні регламенти щодо ЗВТ [15, 14, 16] поширюються на десятки груп ЗВТ, які включають сотні типів засобів вимірювальної техніки. Тому в технічному регламенті неможливо вказати всі метрологічні параметри і характеристики ЗВТ, а також методи їх випробувань. Для вирішення цієї проблеми Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України публікує на своєму офіційному веб-сайті “Переліки національних стандартів для цілей застосування Технічних регламентів”. Відповідність зазначеним стандартам надає презумпцію відповідності ЗВТ вимогам технічних регламентів.

Перелік [17] містить стандарт ДСТУ 7363, що вимагає обов’язковості проведення випробування ПрЗ ЗВТ під час їх оцінки відповідності.

Національні стандарти України [6, 18] виділяють два види ПрЗ засобів вимірювальної техніки:

інтегроване у склад автономного приладу цільового призначення, що має точно встановлений набір вимірювальних функцій;

самостійний програмний продукт, який можна застосовувати для збирання, оброблення, зберігання та надання інформації про вимірювання.

Виділимо основні узагальнені вимоги до ПрЗ ЗВТ, виконання яких доцільно проконтролювати при прийнятті рішення про допуск ЗВТ до експлуатації та/або випробувань, а також при застосуванні цього засобу:

– структура ПрЗ має забезпечити можливість проведення оцінки відповідності функцій ПрЗ вимогам ДСТУ 7363 та інших нормативних документів;

– функції ПрЗ не повинні зазнавати впливу іншого ПрЗ, що працює паралельно або забезпечує його функціонування, чи впливати на його роботу;

– ПрЗ повинно мати функції захисту від несанкціонованого доступу;

– функційні дефекти апаратної частини ЗВТ з ПрЗ, які можуть спотворювати результати вимірювання, мають бути виявлені автоматично;

– ПрЗ повинно бути захищено від ненавмисних, а також навмисних змін зі застосуванням спеціальних засобів (наприклад, програматорів). Зміни повинні бути неможливі, проте, якщо вони виникли, їх наявність має бути очевидною;

– при випробуваннях ОВТ можливо застосовувати тільки автентифіковане ПрЗ, до якого є довіра як до ПрЗ, ідентичного затвердженому. Автентифікацію ПрЗ може бути проведено за умови випробування аналогічного ПрЗ (з однаковою назвою, версією, розробленого одним і тим самим розробником) та внесення його до реєстру;

– ПрЗ повинно мати контрольовану однозначну ідентифікацію (визначення ПрЗ серед подібних), яка повинна здійснюватися під час запуску ПрЗ або за командою користувача;

– ПрЗ повинно мати комплект документації згідно з вимогами єдиної системи програмної документації;

– ПрЗ повинно мати “Атестат на програмне забезпечення”, форму якого наведено у ДСТУ 7363;

– алгоритми і функції ПрЗ повинні бути:

– відповідними і функціонально коректними для конкретної області застосування і конкретного типу пристрою (точність цих алгоритмів, похибка обчислень відповідно до певних правил, алгоритми округлення тощо);

– забезпечити можливість перевірки за допомогою метрологічного тестування, тестування або перевірки;

– дані повинні бути захищені за допомогою програмних засобів, щоб гарантувати автентичність, цілісність і, якщо необхідно, коректність інформації, що стосується часу вимірювання;

– виробник засобів вимірювальної техніки з ПрЗ повинен визначити мінімальні вимоги до апаратного та програмного забезпечення і декларувати їх в свідоцтві про затвердження типу (наприклад, процесор, оперативна пам'ять, жорсткий диск, вимоги до зв'язку, версія операційної системи і т.д.);

– оновлення програмного забезпечення на місці експлуатації слід розглядати як модифікацію, коли наявне ПрЗ замінюють ПрЗ іншої затвердженої версії, або ремонт, коли повторно встановлюють ПрЗ саме тієї самої версії. Для будь-якого ЗВТ, який піддався модифікації або ремонту в процесі його експлуатації, може вимагатися первинна або подальша верифікація.

Для випробувань програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки регламентовано наступні характеристики: ступінь жорсткості випробувань, необхідний рівень захисту програмного забезпечення і ступінь відповідності програмного забезпечення затвердженому.

Ступінь жорсткості випробувань програмного забезпечення регламентує загальний порядок і обсяг випробувань в цілях затвердження ПрЗ для ЗВТ. Необхідний рівень захисту програмного забезпечення означає прийняття адекватних заходів, направлених на запобігання ненавмисних або навмисних його змін. Ступінь відповідності програмного забезпечення затвердженому ПрЗ засобів вимірювальної техніки, що перебуває в експлуатації, має бути перевірено за контрольованою ідентифікацією програми, яку потрібно наводити в опису методики ідентифікації програмного забезпечення чи опису типу ЗВТ.

Для кожної з цих характеристик встановлено три рівні: низький, середній і високий, які повинні враховувати технічні особливості ЗВТ, через що вимоги до ПрЗ засобів вимірювальної техніки можуть установлюватися в різному обсязі [6]. Стандарт [18] рекомендує для проведення ПрЗ ЗВТ шість методів і двадцять процедур, а також алгоритми їх вибору і послідовність застосування.

Висновки

Аналіз і узагальнення нормативної документації та нормативно-правових актів дозволив виявити на додаток до загальних правил допуску засобів вимірювальної техніки до випробувань специфічні вимоги для засобів вимірювальної техніки з програмним забезпеченням:

у сертифікаті перевірки типу повинні бути вказані заходи, необхідні для забезпечення ідентифікації програмного забезпечення, а також містити інформацію, яка дає змогу оцінювати відповідність виготовлених ЗВТ затвердженому типу і здійснювати контроль під час експлуатації;

програмне забезпечення повинно мати “Атестат на програмне забезпечення” із зазначенням ступеня відповідності, жорсткість випробування та рівню захисту програмного забезпечення по формі, яка наведена у ДСТУ 7363;

програмне забезпечення повинно мати комплект документації згідно з вимогами єдиної системи програмної документації, відомості для експлуатації викладають в “Настанові користувача”;

програмне забезпечення повинно бути захищене, а докази втручання бути доступні протягом визначеного періоду часу;

програмне забезпечення повинно мати контрольовану ідентифікацію, яка повинна здійснюватися під час запуску програмного забезпечення або за командою користувача.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Schwartz Roman WELMEC activities towards harmonized software requirements and software examination for measuring instruments under legal control / Roman Schwartz, ULRICH GROTTKER // OIML bulletin. – July 2000. – Volume XLI. – Number 3. – P. 22-30.

2. WELMEC 7.1, Issue 2. Development of Software Requirements. (Informative Document). – Vienna, Austria: WELMEC Secretariat, 2005. – 47 p.
3. Правила метрологічного забезпечення державної авіації України // Наказ міністра оборони України № 812: 27.11.2013. – 51 с.
4. Аркушенко, П. Л. Особливості допуску засобів вимірювальної техніки до випробувань озброєння та військової техніки / П. Л. Аркушенко, В. В. Борщ, О. І. Вервейко, А. В. Коваленко // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: Збірник тез доповідей 18 науково-технічної конф. 06-07 вересня 2018 р. / ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів: ФОП Брагинець О.В., 2018. – С. 60-62.
5. Річна національна програма під егідою Комісії Україна – НАТО на 2020 рік // Указ Президента України від 26.06.2020. – № 203/2020. – 158 с.
6. ДСТУ 7363:2013. Метрологія. Програмне забезпечення засобів вимірювальної техніки. Загальні технічні вимоги. – Чинний з 2014-01-01. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 14 с. (Національний стандарт України).
7. Зіангірова, Л. Т. Метрологічна атестація програмного забезпечення засобів вимірювань / Л. Т. Зіангірова, В. В. Дрუმов, Г. І. Бірюков // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – 2016. – №1 (8). – С. 42-45.
8. П.И. Неежмаков, П. И. Аттестация программного обеспечения средств измерительной техники / П.И. Неежмаков, С.И. Зуб, С. М. Пивненко // Метрологія. – 2012. – С. 611-614.
9. Олеськів О. Метрологічна перевірка програмного забезпечення засобів вимірювання з різними структурами / О. Олеськів, І. Микитин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2015. – № 826. – С. 325-330.
10. Рулева, Е. В. Формирование требований к программному обеспечению средств измерений // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 4 (12). – С. 134-139.
11. WELMEC 7.2:2019. Issue 9. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU1). – Vienna, Austria: WELM Vienna, Austria EC Secretariat: 2019. – 132 с.
12. WELMEC 2.3, Issue 3. Guide for Examining Software. (Non-automatic Weighing Instruments). – Vienna, Austria: WELMEC Secretariat, 2005. – 23.
13. Про метрологію та метрологічну діяльність: Закон України від 05.06.2014 №1314-VIII // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 30. – Ст. 1008. – 18 с.
14. Технічний регламент засобів вимірювальної техніки // Постанова Кабінету Міністрів України № 163. – 24.02.2016. – 153 с.
15. Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки // Постанова Кабінету Міністрів України № 94. - 13.01.2016. - 59 с.
16. Технічний регламент щодо неавтоматичних зважувальних приладів // Постанова Кабінету Міністрів України № 1062. – 16.12.2015. – 34 с
17. Перелік національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності засобів вимірювальної техніки суттєвим вимогам Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 № 94 // Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 717. - 23.04.2019. – 55 с.
18. ДСТУ OIML D 31:2018 (OIML D 31:2008, IDT). Загальні вимоги до засобів вимірювальної техніки з програмним керуванням. - Чинний від 2018-01-01. - К. : Мінекономрозвитку України, 2018. - 53 с. (Національний стандарт України).

Received (Надійшла) 27.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.01.2021

Features of acceptance of measuring equipment with software for testing of weapons and military equipment

V. Borsch, O. Vervejko, P. Arkushenko, O. Florin

Abstract. Software is used in most modern measuring equipment. It can be built-in, autonomous, installed on a computer, which is an integral part of the measuring equipment, which is tasked with obtaining measurement information on quantitative characteristics during testing. When assessing the conformity of modern weapons and military equipment to the tactical and technical task of the customer, the requirements for metrological support increased significantly due to a significant increase in the requirements for accuracy of determining the parameters of weapons and military equipment; constant increase in volume and complexity of measurements; increasing the requirements for efficiency and timeliness of measurements, speed of measuring instruments and control; the need to use, in some cases, complex measuring instruments, with high metrological characteristics, and sometimes unique and / or based on new physical principles. Ukraine's integration into world and European structures, including NATO, and the growing requirements for metrological support determine the urgency of improving and / or clarifying the requirements for metrological testing, in particular the admission to testing of measuring equipment with software, the number of which has increased significantly. The purpose of the article is to analyze the regulatory documentation and regulations of Ukraine in the field of metrology and metrological activities, taking into account recent changes and substantiation on its basis of a set of measures for admission of measuring equipment with software for testing weapons and military equipment. The analysis of normative documentation of Ukraine and recommendations of the international metrological organizations concerning requirements to means of measuring equipment with the software is carried out. The basic generalized requirements which fulfillment is expedient to control at decision-making on the admission of means of measuring equipment to operation or tests are defined. The general rules of admission of measuring equipment with software to tests of armaments and military equipment are highlighted. For testing of the specified software products the regulated characteristics, and also their possible levels are defined. Specific requirements for measuring equipment with software are defined.

Keywords: software of measuring equipment, software testing, technical regulations, types of software, tests, software requirements.

Б. Ю. Волочій¹, В. М. Якубенко¹, Ю. П. Сальник², М. М. Змисний¹

¹ Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна.

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТАРІННЯ МОДУЛІВ ЯДРА ВІДМОВОСТІЙКОЇ СИСТЕМИ МАЖОРИТАРНОГО ТИПУ НА ЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЇЇ НАДІЙНОСТІ

Анотація. Розроблена для проведення досліджень модель відмовостійкої системи мажоритарного типу дає змогу відтворювати будь-яку крутизну зростання інтенсивності відмов модулів ядра, тобто різні швидкості їх старіння. Показано метод урахування зростання інтенсивності відмов в надійнісній моделі відмовостійкої системи мажоритарного типу. Метод базується на гіпотезі про те, що перша відмова модуля в ядрі мажоритарної структури «повідомляє» про близькість вичерпання експлуатаційного ресурсу і в інших модулях ядра. Тому вважати, що після заміни несправного модуля резервним інші модулі ядра мають початковий ресурс працездатності є неправильним. З використанням запропонованого методу розроблено надійнісну модель відмовостійкої системи мажоритарного типу {2 із 3} з ковзним резервуванням модулів ядра та з урахуванням залежності інтенсивності їх відмов від тривалості експлуатації. Проведені порівняльні дослідження показали суттєву різницю між значеннями показника надійності, визначеного без урахування і з урахуванням спрацьованого експлуатаційного ресурсу модулів ядра після заміни несправного модуля резервним.

Ключові слова: надійність, відмовостійка система, надійнісне проектування, мажоритарна структура, ковзне резервування.

1. Вступ та постановка задачі

Відмовостійкі системи мажоритарного типу (ВСМТ), експлуатація яких на тривалих інтервалах часу експлуатації не передбачає технічного обслуговування (ТО) і ремонту, поряд з відомою перевагою щодо маскуванню відмов, мають суттєвий недолік. Ресурс всіх модулів ядра спрацьовується від початку експлуатації об'єкта, який спроектовано з використанням такого способу забезпечення відмовостійкості (надійності). Збільшувати тривалість перебування ВСМТ в працездатному стані можливо за допомогою ковзного резервування модулів ядра. Надійнісні моделі таких ВСМТ є відомими [1, с. 92 – 111; 2; 3; 4]. Однак ці моделі не враховують ту обставину, що відмова першого модуля в ядрі є одночасно сигналом про те, що ресурс решти модулів також спрацьовано. Тому після заміни несправного модуля в ядрі резервним модулем неправильно вважати, що середнє значення тривалості роботи до відмови буде однаковим для решти модулів ядра. Отже інтенсивність відмов модулів, що залишилися працювати в ядрі є більшою, ніж у нового, встановленого під час заміни, модуля. Відповідно при проектуванні ВСМТ для підвищення ступеня адекватності моделі необхідно враховувати дану обставину.

Врахування в надійнісних моделях ВСМТ елементної бази є важливою проблемою. Про це свідчать наявність стандартів [5; 6], директивних документів [7; 8], публікації статей по цій тематиці [9; 10].

Важливим для практики розв'язання задач надійнісного синтезу ВСМТ є:

1) гарантоване забезпечення заданого терміну їх безперервної і безвідмовної роботи без ТО;

2) дотримання обмежень щодо маси та об'єму їх реалізації, які визначають допустиму кількість резервних модулів.

Для розв'язання таких задач треба мати надійнісну модель ВСМТ, яка забезпечує високу достовірність значень показників її надійності. Достовірність значень показників надійності залежить від ступеня адекватності моделі. Ступінь адекватності моделі визначає те, що в ній враховані: інтенсивності відмов модулів ядра та мажоритарного елемента, показники функціональності засобу контролю і діагностики, засобу комутації (перемикання), наявність певної кількості резервних модулів. Крім цього постановкою задачі передбачено врахування в моделі вичерпання експлуатаційного ресурсу модулів, які працюють в ядрі мажоритарної структури. Вважаємо, що вичерпання експлуатаційного ресурсу модулів відповідає зростанню значення показника їх надійності, а саме «інтенсивності відмов».

2. Стан математичного забезпечення, призначеного для аналізу надійності відмовостійких систем мажоритарного типу з урахуванням старіння елементної бази модулів ядра

Незважаючи на широке використання відмовостійких систем мажоритарного типу, залишаються актуальними задачі розроблення методів, моделей та методик, придатних для розв'язання задач їх надійнісного синтезу. В статті [9] представлено надійнісні моделі інформаційно-керуючих систем з дворівневою і багаторівневою мостиковою мажоритарною структурою, в яких враховані особливості розподіленої реалізації мажоритарних елементів при багатоканальній організації системи. Запропоновані моделі забезпечують підвищену достовірність оцінювання безвідмовності інформаційно-керуючих систем. В монографії [10] наведено аналітичні формули для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи систем, в яких інтенсивність відмов окремих модулів є функцією часу. В основу цих формул покладено закон розподілу Вейбулла.

В статті [11] продемонстровано підхід до розроблення імітаційної моделі для оцінювання надійності багатOVERСІЙНИХ мажоритарно-резервованих систем, з врахуванням різних законів розподілу для тривалостей безвідмовної роботи апаратних та програмних засобів. Проте в самій статті подано надійнісну модель ВСМТ з версійним резервуванням програмного засобу та з експоненційним законом розподілу інтервалів часу між відмовами апаратних та програмних засобів.

В монографії [12, с. 26] авторами представлено формулу (1) для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи ВСМТ з довільною кількістю модулів в ковзному резерві:

$$R_{hybrid}(t) = R_{voter}(t)R_{rec}(t) \times \left\{ 1 - mR(t)[1 - R(t)]^{m-1} - [1 - R(t)]^m \right\}, \quad (1)$$

де $R_{voter}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи мажоритарного елемента; $R_{rec}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи комутуючого пристрою; $R(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи модуля ядра; m – загальна кількість модулів у ВСМТ ($m = 3 + k$, k – кількість резервних модулів).

За результатами проведеного дослідження автор робить висновок про доцільність використання ВСМТ з ковзним резервуванням модулів ядра. Така відмовостійка система забезпечує кращі показники надійності. Проте у формулі (1) не враховано показник функціональності засобу контролю та діагностики. А також прийнято, що інтенсивність відмов модулів є постійною, тобто не залежить від тривалості їх експлуатації.

В монографії [13, с. 51] запропоновано формулу (2) для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи ВСМТ, в якій надійність кожного з трьох модулів ядра є різною:

$$R_{TMR} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 + (1 - R_1) \cdot R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot (1 - R_2) \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2 \cdot (1 - R_3), \quad (2)$$

де R_1, R_2, R_3 – ймовірності безвідмовної роботи 1-го, 2-го і 3-го модулів ядра.

Однак в цій формулі не враховані: показники функціональності засобу контролю та діагностики, використання ковзного резерву, зростання інтенсивності відмов модулів, що продовжують працювати після першої відмови одного з модулів ядра.

У статті [14] подано формули для визначення коефіцієнта готовності і експлуатаційної ймовірності безвідмовної роботи ВСМТ. Однак запропоновані формули не враховують зростання інтенсивності відмов модулів ядра і прийнято допущення, що мажоритарний елемент є абсолютно надійним.

В монографії [15] подано формули для розрахунку середнього значення тривалості безвідмовної роботи ВСМТ, в яких враховано лише інтенсивність відмов модулів ядра.

В статті [16] представлений огляд досліджень присвячених аналізу надійності ВСМТ та надійнісну модель ВСМТ з правилом голосування {2 із 3}, в

якій враховано зростання інтенсивності відмов (ефект старіння) модулів, що продовжують працювати після відмови одного з модулів ядра та наявність двох резервних модулів. Однак в цій моделі використано традиційне «хлибне» визначення інтенсивності відмов ядра мажоритарної структури, як сума інтенсивностей відмов модулів ядра. Закладення в модель такого способу визначення інтенсивності відмов ядра мажоритарної структури дає суттєве заниження значень показників надійності ВСМТ. Наявність в моделі двох резервних модулів без можливості зміни їх кількості обмежує її використання. Наприклад, якщо треба визначити кількість резервних модулів на задану тривалість експлуатації ВСМТ без ТО.

Отже на основі проведеного аналізу публікацій за темою дослідження зроблено висновок про те, що відсутня надійнісна модель ВСМТ, в якій враховано зростання інтенсивності відмов модулів ядра, яка має місце в процесі її тривалої експлуатації, необхідність (можливість) зміни кількості резервних модулів, реальну надійність мажоритарного елемента, показники функціональності засобу контролю та діагностики модулів ядра і комутатора ковзного резерву.

3. Конфігурація відмовостійкої системи мажоритарного типу

Вирішення поставленої задачі проведено для ВСМТ з правилом голосування {2 із 3}, яка має в ядрі три програмно-апаратні модулі (ПАМ) і мажоритарний елемент (МЕ) (рис. 1). Надійність такої ВСМТ підвищують введенням в її структуру ковзного резерву, що складається з декількох додаткових ПАМ. Ці ПАМ не задіяні (холодний резерв) і підключаються за допомогою комутуючого пристрою (КП) замість несправних ПАМ ядра, виявлених засобом контролю і діагностики (ЗКД). Їх кількість визначають, на основі врахування надійності ПАМ та заданої тривалості безвідмовної роботи ВСМТ.

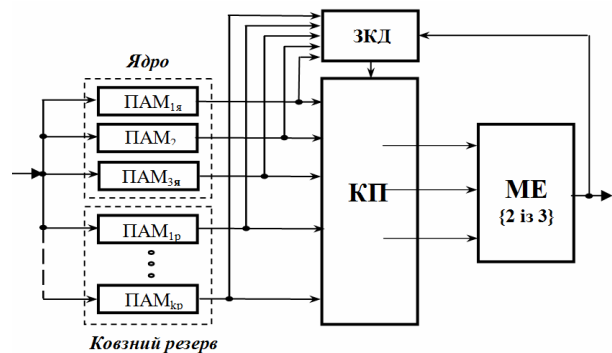


Рис. 1. Структурна схема ВСМТ з правилом голосування {2 із 3} та з ковзним резервом

4. Спосіб врахування в моделі відмовостійкої системи зростання інтенсивності відмов програмно-апаратних модулів ядра

При експлуатації ВСМТ всі працездатні ПАМ ядра починають роботу одночасно. В результаті з часом їх експлуатаційний ресурс вичерпується. Пе-

рша відмова одного з модулів ядра ВСМТ свідчить про те, що його ресурс вичерпано і через деякий час слід очікувати відмов другого і третього модулів ядра. Вважаємо, що для цих модулів розпочався перший етап старіння. Тому показник їх надійності «середнє значення тривалості безвідмовної роботи» буде суттєво зменшеним. Тому правильним рішенням при моделюванні ВСМТ буде врахування наслідків старіння зростанням інтенсивності відмов ПАМ, що залишилися в ядрі. Таке врахування в розробленій моделі здійснено наступним чином. Від початку експлуатації ВСМТ і до моменту відмови першого модуля інтенсивність відмов всіх модулів ядра позначимо $\lambda_{1ПАМ}$.

Після відмови першого модуля розпочався перший етап старіння для другого та третього модулів. Тому значення інтенсивностей відмов другого і третього модулів зростуть та в моделі отримують позначення $\lambda_{2ПАМ}$. Разом з цим, в ядро мажоритарної структури замість непрацездатного, включається перший резервний ПАМ, інтенсивність відмов якого має початкове значення $\lambda_{1ПАМ}$.

Після відмови другого модуля розпочався другий етап старіння для третього модуля. Тому значення інтенсивності відмов третього ПАМ зростає та в моделі отримує позначення $\lambda_{3ПАМ}$. Разом з цим в ядро ВСМТ замість непрацездатного включається другий резервний ПАМ, інтенсивність відмов якого має початкове значення $\lambda_{1ПАМ}$. Зауважимо, що при цьому інтенсивність відмов резервного модуля, включеного в ядро першим не збільшуємо. Таке рішення обумовлено тим, що середнє значення тривалості безвідмовної роботи двох модулів першої трійки після відмови першого модуля є значно меншим, ніж тривалість безвідмовної роботи нового модуля. За аналогічним обґрунтуванням не збільшуємо інтенсивність відмов цього резервного модуля, і після відмови третього модуля першої трійки.

Після відмови третього ПАМ в ядро ВСМТ замість непрацездатного включається третій резервний ПАМ. Інтенсивність відмов цього модуля має початкове значення $\lambda_{1ПАМ}$. Зауважимо, що і після цієї події всі три резервні модулі, включені в ядро мають початкове значення інтенсивності відмов.

На рис. 2 показана часова діаграма функціонування ВСМТ та трьома резервними модулями і безвідмовними на інтервалі часу експлуатації засобами ЗКД, КП і МЕ.

Після відмови резервного ПАМ підключеного першим (будь-якого з трьох) ВСМТ зберігає працездатність до відмови одного з двох резервних модулів, що залишилися.

Під час розроблення надійнісної моделі ВСМТ із трьох модулів в ядрі та з ковзним резервуванням, переходи із стану в стан в графі станів відбуваються з такими інтенсивностями:

1) із станів, які мають в ядрі 3 нові модулі, інтенсивність переходів визначає початкове значення інтенсивності відмов одного модуля – $\lambda_{1ПАМ}$;

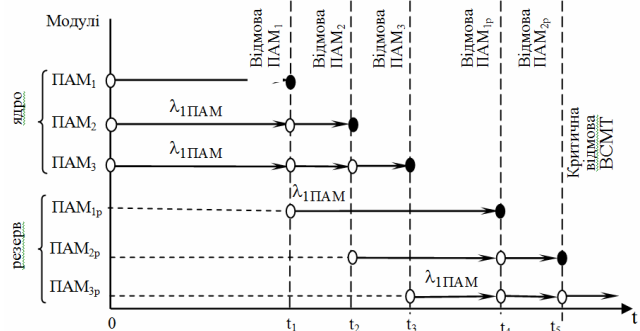


Рис. 2. Часова діаграма функціонування ВСМТ та трьома резервними ПАМ з відображенням моментів зміни (зростання) інтенсивності відмов модулів ядра (позначення: \circ – початок або продовження роботи ПАМ; \bullet – відмова ПАМ)

2) із станів, які мають в ядрі 3 модулі, з яких: 2 модулі залишилися після відмови першого і один новий модуль з резерву, інтенсивність переходів визначає інтенсивність відмов одного модуля, який перебуває на першому етапі старіння – $\lambda_{2ПАМ}$;

3) із станів, які мають в ядрі 3 модулі, з яких: 1 модуль залишився після відмови другого і два нових модулі з резерву, інтенсивність переходів визначає інтенсивність відмов одного модуля, який перебуває на другому етапі старіння – $\lambda_{3ПАМ}$;

4) із станів, які мають в ядрі 3 нові модулі підключені з резерву, інтенсивність переходів визначає початкове значення інтенсивності відмов одного модуля – $\lambda_{1ПАМ}$;

5) із станів, які мають в ядрі 2 модулі підключені з резерву, які залишилися після відмови першого, інтенсивність переходів визначає сумарна інтенсивність відмов двох модулів першого рівня старіння – $2\lambda_{2ПАМ}$.

5. Розроблення дискретно-неперервної стохастичної моделі досліджуваної відмовостійкої системи

Для розроблення дискретно-неперервної стохастичної моделі ВСМТ використано технологію моделювання подану в монографії [17] та удосконалену в статтях [18; 19; 20].

Згідно технології сформовано опорний граф станів та переходів досліджуваної ВСМТ на основі базових подій, що формують її надійнісну поведінку. Для цього задаємо параметри системи, визначаємо базові події, які враховували би всі процеси і процедури закладені в алгоритмі надійнісної поведінки ВСМТ, та призначаємо компоненти вектора станів системи.

В розробленій моделі ВСМТ враховані наступні її параметри та показники надійності і функціональності складових:

- n – початкова кількість справних ПАМ в ядрі ВСМТ;
- k – початкова кількість справних ПАМ ковзного резерву.

▪ $\lambda_{1ПAM}$ – середні значення інтенсивностей відмов ПAM, які експлуатуються з початку роботи ВСMT та ПAM ковзного резерву з моменту його включення в ядро ВСMT;

▪ $\lambda_{2ПAM}$ – середні значення інтенсивностей відмов другого та третього ПAM після відмови першого ПAM;

▪ $\lambda_{3ПAM}$ – середнє значення інтенсивності відмов третього ПAM після відмови другого ПAM;

▪ λ_{ME} – середнє значення інтенсивності відмови ME;

▪ $P_{у.к}$ – ймовірність успішного виконання процедури контролю і діагностики;

▪ $P_{у.п}$ – ймовірність успішного виконання процедури перемикання КП.

Для визначення базових подій сформована табл. 1, в якій відображені всі події надійнісної поведінки досліджуваної ВСMT.

Згідно технології моделювання [17] базовими подіями є всі події представлені в таблиці 1 в колонці ПОДІЯ – «закінчення». Підчас розроблення моделі прийнято до уваги, що:

1) чотири базові події, що представляють відмови різних ПAM, є фактично одною базовою подією «Відмова ПAM в ядрі». Для цієї базової події використано позначення БП1;

2) тривалість процедури контролю та діагностики і тривалість процедури відключення несправного ПAM та підключення резервного є значно меншими від середнього значення тривалості безвідмовної роботи ПAM і ME. Тому в розробленій моделі тривалості цих процедур є рівними нулю. Однак відповідні базові події цих процедур є зведеними з БП1 і мають позначення ЗвБП3 та ЗвБП4;

3) для базової події «Відмова ME» використано позначення БП2.

Вектор станів в розробленій моделі представлено такими компонентами:

V1 – відображає поточне значення кількості працюючих ПAM в ядрі, які експлуатуються з початку роботи ВСMT або підключені в ядро з резерву. Початкове значення компоненти: $V1 = 3$.

V2 – відображає поточне значення кількості працюючих ПAM у ядрі, які почали працювати після першої відмови модуля в ядрі (перший етап старіння модулів, що залишилися в ядрі). Початкове значення компоненти: $V2 = 0$.

V3 – відображає поточне значення кількості працюючих ПAM у ядрі, які почали працювати після другої відмови модуля в ядрі (другий етап старіння модулів, що залишилися в ядрі). Початкове значення компоненти: $V3 = 0$.

V4 – відображає поточне значення кількості працюючих ПAM в ковзному резерві. Початкове значення компоненти: $V4 = 3$.

V5 – відображає стан мажоритарного елемента: $V5 = 1$ – справний; $V5 = 0$ – несправний. Початкове значення компоненти: $V5 = 1$.

Розроблення опорного графа станів та переходів виконується за допомогою таблиці 2. Підчас розроблення опорного графа заносимо: в колонку 1 – номер кроку; в колонку 2 – номер стану, що розглядається, і актуальну базову подію; в колонку 3 – ймовірність альтернативного продовження процесу; в колонки 4, 5, 6, 7, 8 – значення компонент вектора стану; в колонку 9 – присвоєний номер стану; в колонку 10 – перехід з стану в стан, тобто номер попереднього стану, який береться з колонки 2, та номер наступного стану, в який здійснюється перехід (номер стану береться з колонки 9); в колонку 11 – формула для розрахунку значення інтенсивності переходу із стану в стан. Поточну кількість власних модулів ядра ВСMT в компонентах вектора стану позначено індексом «я», а кількість резервних модулів – індексом «р». Опорний граф станів розроблено для таких значень параметрів структури ВС: $n = 3, k = 3$.

Отриманий граф станів та переходів показує, що для досліджуваної в процесі експлуатації великої кількості відмовостійких систем будемо «бачити» 9 станів та 24 переходів. Причому 15 переходів є наслідком базових подій БП1, ЗвБП3, ЗвБП4 та 9 – базової події БП2.

На основі сформованого опорного графа станів визначено компоненти структурно-автоматної моделі за методикою поданою в працях [17, 19, 20].

Таблиця 1 – Події, що відображають поведінку досліджуваної відмовостійкої системи

№ з/п	ПОДІЯ – «початок» інтервалу часу між сусідніми подіями	ПОДІЯ – «закінчення» інтервалу часу між сусідніми подіями	Середнє значення інтервалу часу між подіями
1	Початок роботи ПAM ядра.	Відмова одного з ПAM ядра.	$t_{1ПAM} = 1/\lambda_{1ПAM}$
2	Початок роботи двох справних ПAM, що залишилися в ядрі після першої відмови.	Відмова другого ПAM ядра.	$t_{2ПAM} = 1/\lambda_{2ПAM}$
3	Початок роботи третього справного ПAM, що залишився в ядрі після відмови другого модуля.	Відмова третього ПAM ядра.	$t_{3ПAM} = 1/\lambda_{3ПAM}$
4	Початок роботи першого резервного ПAM, підключеного замість несправного ПAM в ядро.	Відмова підключеного в ядро резервного ПAM.	$t_{1ПAM} = 1/\lambda_{1ПAM}$
5	Початок роботи ME.	Відмова ME.	$t_{ME} = 1/\lambda_{ME}$
6	Початок процедури контролю та діагностики	Закінчення процедури контролю і діагностики	$t_{к.д}$
7	Початок процедури відключення несправного ПAM і підключення резервного.	Закінчення процедури відключення несправного ПAM і підключення резервного.	$t_{ком}$

Таблиця 2 – Розроблення опорного графа станів і переходів ВСМТ з трьома резервними ПАМ та із зростанням інтенсивності відмов модулів в процесі експлуатації

№ кроку	Стан, що розглядається, і актуальна база подія	Ймовірність альтернативного продовження процесу	Вектор стану					№ стану	Перехід з стану в стан	Формула розрахунку значення інтенсивності переходу із стану в стан
			Ядро			Резерв	Стан МЕ			
			V1	V2	V3	V4	V5			
Початковий стан			3я	0	0	3	1	1	--	-
1	1БП1	$P_{y.k}P_{y.n}$	1р	2я	0	2	1	2	1 → 2	$\lambda_{1ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
2	(ЗвБПЗ ЗвБП4)	$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	0	2я	0	3	1	3	1 → 3	$\lambda_{1ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
3	1БП2	-	3я	0	0	3	0	КВ	1 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
4	2БП1	$P_{y.k}P_{y.n}$	2р	0	1я	1	1	4	2 → 4	$\lambda_{2ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
5	(ЗвБПЗ ЗвБП4)	$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	1р	0	1я	2	1	5	2 → 5	$\lambda_{2ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
6	2БП2	-	1р	2я	0	2	0	КВ	2 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
7	3БП1	$P_{y.k}P_{y.n}$	1р	0	1я	2	1	5	3 → 5	$\lambda_{2ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
8	(ЗвБПЗ, ЗвБП4)	$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	0	0	1я	3	1	КВ	3 → КВ	$\lambda_{2ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
9	3БП2	-	0	2я	0	3	0	КВ	3 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
10	4БП1	$P_{y.k}P_{y.n}$	3р	0	0	0	1	6	4 → 6	$\lambda_{3ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
11	(ЗвБП1, ЗвБП4)	$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	2р	0	0	1	1	7	4 → 7	$\lambda_{3ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
12	4БП2	-	2р	0	1я	1	0	КВ	4 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
13	5БП1 (ЗвБПЗ, ЗвБП4)	$P_{y.k}P_{y.n}$	2р	0	0	1	1	7	5 → 7	$\lambda_{3ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
14		$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	1р	0	0	2	1	КВ	5 → КВ	$\lambda_{3ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
15	5БП2	-	1р	0	1я	2	0	КВ	5 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
16	6БП1	-	0	2р	0	0	1	8	6 → 8	$\lambda_{1ПАМ}$
17	6БП2	-	3р	0	0	0	0	КВ	6 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
18	7БП1 (ЗвБПЗ ЗвБП4)	$P_{y.k}P_{y.n}$	1р	1р	0	0	1	9	7 → 9	$\lambda_{1ПАМ}P_{y.k}P_{y.n}$
19		$1 - P_{y.k}P_{y.n}$	0	1р	0	1	1	КВ	7 → КВ	$\lambda_{1ПАМ}(1 - P_{y.k}P_{y.n})$
20	7БП2	-	2р	0	0	1	0	КВ	7 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
21	8БП1	-	0	0	1р	0	1	КВ	8 → КВ	$\lambda_{2ПАМ}$
22	8БП2	-	0	2р	0	0	0	КВ	8 → КВ	$\lambda_{МЕ}$
23	9БП1	-	1р	0	0	0	1	КВ	9 → КВ	$\lambda_{2ПАМ}$
24	9БП2	-	1р	1р	0	0	0	КВ	9 → КВ	$\lambda_{МЕ}$

Так як модель має 2 базові події, то задача формування структурно-автоматної моделі вирішується в два етапи. На першому етапі виберемо з опорного графа всі стани, що формуються після базової події БП1 і зведеними з нею подіями ЗвБПЗ, ЗвБП4 (табл. 3). На другому етапі вибираємо з графа всі стани, що формуються після базової події БП2 (табл. 4). Зауважимо, що за результатами розроблення опорного графа станів до структурно-автоматної моделі переходять такі компоненти: базові події, вектор станів та формули розрахунку інтенсивностей переходів із стану в стан.

На підставі сформованих табл. 3 та 4 визначимо ще дві компоненти структурно-автоматної моделі для базової події БП1 і зведених з нею подій ЗвБПЗ, ЗвБП4 та базової події БП2, а саме:

– складаємо логічні вирази опису ситуацій, в яких відбуваються базові події;

– формуємо правило модифікації компонент вектора стану для кожного переходу із стану в стан, тобто визначаємо, які компоненти вектора стану змінюватимуться при переходах із стану в стан.

Визначені компоненти структурно-автоматної моделі заносимо в табл. 5, форма якої відповідає формі діалогового вікна програмного засобу ASNA [21].

Програмний засіб ASNA на основі введеної структурно-автоматної моделі здійснює:

побудову графа станів для будь-яких значень параметрів і показників надійності та функціональності складових ВСМТ;

формування та розв'язання відповідної системи диференціальних рівнянь;

розрахунок значень показників надійності, а саме ймовірність безвідмовної роботи ВСМТ на заданому інтервалі експлуатації та середнє значення тривалості її безвідмовної роботи.

Таблиця 3 – Визначення ситуацій, в яких відбуваються базова подія БП1 і зведені з нею події ЗвБПЗ, ЗвБП4

№ кроку	Стан, що розглядається, і актуальна базова подія	Ймовірність альтернативного продовження процесу	Вектор стану					№ стану	Перехід з стану в стан	Формула розрахунку значення інтенсивності переходу із стану в стан	
			Ядро				Резерв				Стан МЕ
			V1	V2	V3	V4					
1-а ситуація			3я	0	0	3	1	1		-	
1	1БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	1р	2я	0	2	1	2	1 → 2	$\lambda_{1ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
2	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	0	2я	0	3	1	3	1 → 3	$\lambda_{1ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
2-а ситуація			1р	2я	0	2	1	2			
4	2БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	2р	0	1я	1	1	4	2 → 4	$\lambda_{2ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
5	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	1р	0	1я	2	1	5	2 → 5	$\lambda_{2ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
3-а ситуація			0	2я	0	3	1	3			
7	3БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	1р	0	1я	2	1	5	3 → 5	$\lambda_{2ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
8	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	0	0	1я	3	1	КВ	3 → КВ	$\lambda_{2ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
4-а ситуація			2р	0	1я	1	1	4			
10	3БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	3р	0	0	0	1	6	4 → 6	$\lambda_{3ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
11	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	2р	0	0	1	1	7	4 → 7	$\lambda_{3ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
5-а ситуація			1р	0	1я	2	1	5			
13	5БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	2р	0	0	1	1	7	5 → 7	$\lambda_{3ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
14	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	1р	0	0	2	1	КВ	5 → КВ	$\lambda_{3ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
6-а ситуація			3р	0	0	0	1	6			
16	6БП1	-	0	2р	0	0	1	8	6 → 8	$\lambda_{1ПAM}$	
7-а ситуація			2р	0	0	1	1	7			
18	7БП1	$P_{у.к}P_{у.л}$	1р	1р	0	0	1	9	7 → 9	$\lambda_{1ПAM}P_{у.к}P_{у.л}$	
19	(ЗБПЗ, ЗБП4)	$1 - P_{у.к}P_{у.л}$	0	1р	0	1	1	КВ	7 → КВ	$\lambda_{1ПAM}(1 - P_{у.к}P_{у.л})$	
8-а ситуація			0	2р	0	0	1	8			
21	8БП1	-	0	0	1р	0	1	КВ	8 → КВ	$\lambda_{2ПAM}$	
9-а ситуація			1р	1р	0	0	1	9			
23	9БП1	-	1р	0	0	0	1	КВ	9 → КВ	$\lambda_{2ПAM}$	

Таблиця 4 – Визначення ситуацій, в яких відбувається базова подія БП2

№ кроку	Стан, що розглядається, і актуальна базова подія	Ймовірність альтернативного продовження процесу	Вектор стану					№ стану	Перехід з стану в стан	Формула розрахунку значення інтенсивності переходу із стану в стан	
			Ядро				Резерв				Стан МЕ
			V1	V2	V3	V4					
1-а ситуація			3я	0	0	3	1	1		-	
1	1БП2	-	3я	0	0	3	0	КВ	1 → КВ	λ_{ME}	
2-а ситуація			1р	2я	0	2	1				
2	2БП2	-	1р	2я	0	2	0	КВ	2 → КВ	λ_{ME}	
3-а ситуація			0	2я	0	3	1				
3	3БП2	-	0	2я	0	3	0	КВ	3 → КВ	λ_{ME}	
4-а ситуація			2р	0	1я	1	1				
4	4БП2	-	2р	0	1я	1	0	КВ	4 → КВ	λ_{ME}	
5-а ситуація			1р	0	1я	2	1				
5	5БП2	-	1р	0	1я	2	0	КВ	5 → КВ	λ_{ME}	
6-а ситуація			3р	0	0	0	1				
6	6БП2	-	3р	0	0	0	0	КВ	6 → КВ	λ_{ME}	
7-а ситуація			2р	0	0	1	1				
7	7БП2	-	2р	0	0	1	0	КВ	7 → КВ	λ_{ME}	
8-а ситуація			0	2р	0	0	1				
8	8БП2	-	0	2р	0	0	0	КВ	8 → КВ	λ_{ME}	
9-а ситуація			1р	1р	0	0	1				
9	9БП2	-	1р	1р	0	0	0	КВ	9 → КВ	λ_{ME}	

Таблиця 5 – Структурно-автоматна модель запропонованої ВСМТ

№ ситуації	Логічні вирази опису ситуацій, в яких відбувається базова подія	Формули розрахунку інтенсивності переходу	Правила модифікації компонент вектора стану
Базова подія БП1 та зведені з нею події ЗБП3, ЗБП4			
1	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=3) AND (V5=1)	$\lambda_{1ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=1; V2:=2; V4:=2
		$\lambda_{1ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V1:=0; V2:=2
2	(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=2) AND (V5=1)	$\lambda_{2ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=2; V2:=0; V3:=1; V4:=1
		$\lambda_{2ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V2:=0; V3:=1
3	(V1=0) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=3) AND (V5=1)	$\lambda_{2ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=1; V2:=0; V3:=1; V4:=2
		$\lambda_{2ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V2:=0; V3:=1
4	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=1)	$\lambda_{3ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=3; V3:=0; V4:=0
		$\lambda_{3ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V3:=0
5	(V1=1) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=2) AND (V5=1)	$\lambda_{3ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=2; V3:=0; V4:=1
		$\lambda_{3ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V3:=0
6	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	$\lambda_{1ПІАМ}$	V1:=0; V2:=2
7	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=1) AND (V5=1)	$\lambda_{1ПІАМ} P_{y,k} P_{y,n}$	V1:=1; V2:=1; V4:=0
		$\lambda_{1ПІАМ} (1 - P_{y,k} P_{y,n})$	V1:=0; V2:=1
8	(V1=0) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	$\lambda_{2ПІАМ}$	V2:=0; V3:=1
9	(V1=1) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	$\lambda_{2ПІАМ}$	V2:=0
Базова подія БП2			
1	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=3) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
2	(V1=1) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=2) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
3	(V1=0) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=3) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
4	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=1) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
5	(V1=1) AND (V2=0) AND (V3=1) AND (V4=2) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
6	(V1=3) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
7	(V1=2) AND (V2=0) AND (V3=0) AND (V4=1) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
8	(V1=0) AND (V2=2) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0
9	(V1=1) AND (V2=1) AND (V3=0) AND (V4=0) AND (V5=1)	λ_{ME}	V5:=0

6. Аналіз надійності відмовостійкої системи мажоритарного типу з урахуванням старіння модулів ядра в процесі експлуатації

Процес старіння модулів в ядрі ВСМТ типу відображає залежність середнього значення інтенсивності відмов модулів від тривалості експлуатації. Характерна особливість цієї залежності в тому, що на великому інтервалі часу інтенсивність відмов модулів є низькою і постійною. Але після деякої тривалості експлуатації інтенсивність відмов починає зростати. Крутизна цього зростання може бути різною. І є цілком логічним інтерпретувати різні крутизни зростання як різні «швидкості старіння модулів ядра».

Розроблена для проведення дослідження модель дає змогу відтворювати будь-яку крутизну зростання інтенсивності відмов модулів ядра ВСМТ, тобто різні швидкості їх старіння.

Крутизна зростання інтенсивності формується вибором співвідношенням між значеннями інтенсивності відмов $\lambda_{1ПІАМ}$, $\lambda_{2ПІАМ}$, $\lambda_{3ПІАМ}$.

Так, наприклад, співвідношеннями

$$\lambda_{3ПІАМ} / \lambda_{2ПІАМ} = \lambda_{2ПІАМ} / \lambda_{1ПІАМ} = 5$$

можна представляти низьку (малу) швидкість старіння модулів ядра, а співвідношеннями

$$\lambda_{3ПІАМ} / \lambda_{2ПІАМ} = \lambda_{2ПІАМ} / \lambda_{1ПІАМ} = 100 -$$

високу швидкість їх старіння.

Аналіз надійності ВСМТ проведено при таких вхідних даних:

початкова кількість модулів в ядрі – $n = 3$;

початкова кількість модулів ковшного резерву – k ;

$$\lambda_{1ПІАМ} = 10^{-4} 1/200; \lambda_{2ПІАМ} = (5...100)\lambda_{1ПІАМ} 1/200;$$

$$\lambda_{3ПІАМ} = (5...100)\lambda_{2ПІАМ} 1/200;$$

$$\lambda_{ME} = 5 \cdot 10^{-4} 1/200; P_{y,k} = 0,99; P_{y,n} = 0,99.$$

Результати дослідження надійності ВСМТ для різних співвідношень між $\lambda_{1ПІАМ}$, $\lambda_{2ПІАМ}$ та $\lambda_{3ПІАМ}$ приведено в табл. 6 та на рис. 3.

Таблиця 6 – Залежність середнього значення тривалості безвідмовної роботи ВСМТ від швидкості старіння модулів ядра при різних кількостях резервних модулів

Кількість резервних модулів, k	Середні значення тривалостей безвідмовної роботи ВСМТ для різних значень співвідношення інтенсивностей відмов модулів ядра: 1, 5, 10, 50, 100 ($\lambda_{1ПММ} = 10^{-4} 1/год$)				
	1	5	10	50	100
0	15113	11082	10532	10105	10054
1	25054	12383	11093	10206	10104
2	34873	17202	16084	15196	15094
3	44599	23116	21133	20008	19854
4	54239	24677	22146	20380	20177
5	63076	29137	26588	24814	24609
6	73130	35152	32082	29888	29629

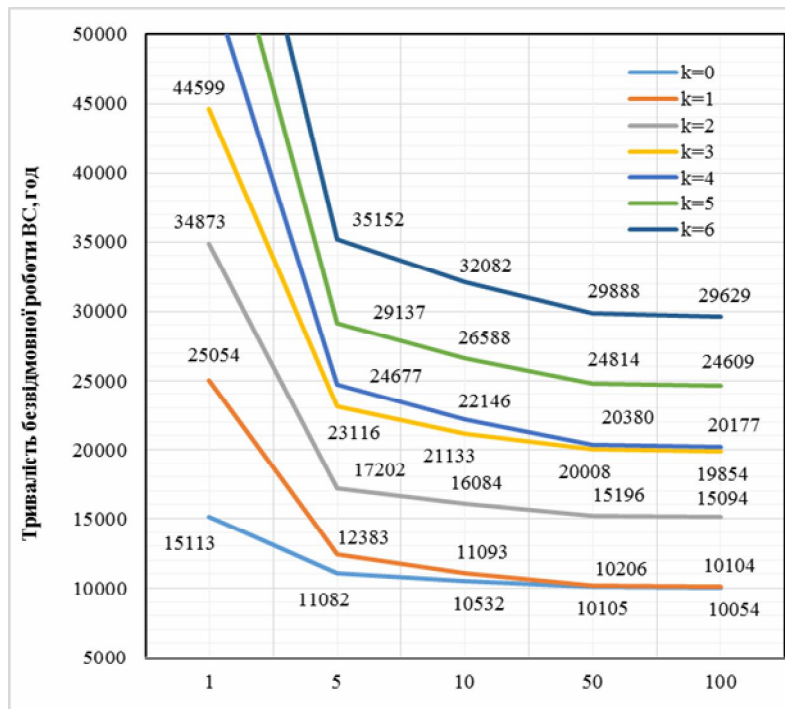


Рис. 3. Залежність тривалості безвідмовної роботи ВСМТ від співвідношення середніх значень інтенсивності відмов модулів ядра $\lambda_{3ПММ} / \lambda_{2ПММ} = \lambda_{2ПММ} / \lambda_{1ПММ}$ з різною кількістю резервних модулів

Для порівняння значень подано результат розрахунку середнього значення тривалості безвідмовної роботи ВСМТ при незмінних значеннях інтенсивності відмов ПАМ, які дають відомі моделі.

Як показали проведені дослідження (рис. 3) у ВСМТ і трьома модулями в ядрі не доцільно мати (включати) 1 або 4 резервних модулів. Треба включати 2, 3, 5, 6 резервних модулів, в залежності від того, яке значення тривалості безвідмовної роботи необхідно забезпечити (гарантувати). Крім того, при великих швидкостях старіння модулів

$$\lambda_{3ПММ} / \lambda_{2ПММ} = \lambda_{2ПММ} / \lambda_{1ПММ} \geq 50,$$

середні значення тривалості безвідмовної роботи є практично однаковими.

Висновки

Отримані результати моделювання відмовостійкої системи мажоритарного типу (ВСМТ) з правилом голосування {2 із 3} і з резервними програмно-апаратними модулями (ПАМ) в кількості від 1 до 6 з використанням розробленої надійнісної моделі

підтверджують гіпотезу про те, що показники надійності ВСМТ, а саме середнє значення тривалості безвідмовної роботи та ймовірність безвідмовної роботи за час експлуатації, мають менші значення ніж при моделюванні ВСМТ з незмінними значеннями інтенсивності відмов ПАМ. При цьому, чим більшим є приріст значень інтенсивності відмов модулів ядра внаслідок вичерпання ними експлуатаційного ресурсу в процесі експлуатації, тим меншими є значення показників надійності ВСМТ. Слід відзначити тенденцію, що із збільшенням приросту значень інтенсивностей відмов ПАМ зменшення значень показників надійності стає повільнішим.

Враховання зростання інтенсивності відмов модулів ядра в процесі їх експлуатації підвищує ступінь адекватності надійнісних моделей ВСМТ і є важливим для практики розв'язання задач надійнісного синтезу відмовостійких систем мажоритарного типу.

Запропонований підхід до розроблення надійнісної моделі ВСМТ з правилом голосування {2 із 3} можна поширити до інших відмовостійких систем, наприклад з правилом голосування {3 із 5}.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mathematical Models and Methods for Reliability Analysis of Radio, Electronic and Software Systems / Bobalo Yu.Ya., Volochiy B.Yu., Lozinsky O.Yu., Mandziy B.A., Ozirkovsky L.D., Fedasyuk D.V., Scherbovskikh S.V., Yakovyna V.S., – Lviv: Polytechnic National University, 2013. – 300 p. (in Ukrainian).
2. Biernat Janusz The Effect of Compensating Faults Models on NMR System Reliability / Biernat Janusz // IEEE Transactions on reliability. – 1994. – vol. 43, No. 2. – P. 294-300.
3. Sherif Yacoub Automating the Analysis of Voting Systems / Sherif Yacoub, Xiaofan Lin, Steve Simske, John Burns // Software Reliability Engineering. ISSRE. – 2003. – P. 203-214.
4. Ingle Ashok A Reliability Model for Various Switch Designs in Hybrid Redundancy/ Ashok Ingle, Daniel Siewiorek. – Carnegie Mellon University. – 1973. – 43 p.
5. MIL-HDBK-202: Test Methods for Electronic and Electrical Component Parts.
6. MIL-HDBK-217F: Reliability Prediction for Electronic Equipment.
7. Methodology for Ageing Management of Nuclear Power Plant Component Important to Safety. IAEA-TRS-338 / IAEA Vienna, 1992. – 62 p.
8. Evaluating the Effects of Aging on Electronic Instrument and Control Circuit Boards and Components in Nuclear Power Plants <https://www.osti.gov/servlets/purl/841248>.
9. Харченко В. С. Модели надежности информационно-управляющих систем с сетевым многоярусным мостиковым мажоритированием / В. С. Харченко, В. В. Скляр, А. Д. Герасименко // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6. – С. 196-201. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2007_6_38.
10. David J. Smith Reliability, Maintainability and Risk (Ninth Edition) Practical Methods for Engineers / David J. Smith / Published Elsevier Butterworth-Heinemann. – 2017. – 478 p.
11. Харченко В.С., Пискачева И.В. Метод многоверсионного мажоритарного резервирования цифровых управляющих вычислительных систем и исследование их с использованием имитационного моделирования // Системи обробки інформації. 2003, №5. – С. 120-125.
12. Koren Israel Fault tolerant systems / Israel Koren, C. Mani Krishna // Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 2007. – 378 p.
13. Dubrova E. Fault tolerant design: an introduction / Dubrova E. – Department of Microelectronics and Information Technology Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. Kluwer Academic Publishers, 2007. – 150 p.
14. Balasubramanian P. System Reliability, Fault Tolerance and Design Metrics Tradeoffs in the Distributed Minority and Majority Voting Based Redundancy Scheme // WSEAS transactions on systems. – 2016, volume 16. – P. 59-62.
15. Shooman Martin L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design / Martin L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. – 528 p.
16. Volochiy B. The Reliability Model of Fault-Tolerant System with the Majority Structure and Considering the Change in the Failure Rate of the Core Module During Operation / B. Volochiy, V. Yakubenko, M. Zmysnyi // Proceedings of 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET-2020), Lviv-Slavske, Ukraine, February 25-29, 2020. Paper ID 211.
17. Volochiy B.Y. Technology of modeling algorithms of information systems behavior / B.Y. Volochiy – Lviv, NU “Lviv Politechnika”, 2004 – 220 p.
18. Fedasiuk D.V. Methods of developing structural automaton models for discrete-continuous stochastic systems / D.V. Fedasiuk, S.B. Volochiy // Scientific journal “Radioelectronic and computer systems” – Kharkiv, «KhAI» 2016. – №6(80). – P. 24-34.
19. Fedasyuk, D. Method of Developing the Structural-Automaton Models of Fault-Tolerant Systems [Text] / Dmytro Fedasyuk, Serhiy Volochiy // Proceedings 14th International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM)”, 21-25 February 2017, Polyana, Ukraine. – P. 22-26.
20. Федасюк Д. В. Методика розроблення структурно-автоматних моделей відмовостійких систем з альтернативними продовженнями випадкових процесів після процедур контролю, перемикання і відновлення / Д. В. Федасюк, С. Б. Волочій // Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – Львів: вид-во Львівської політехніки. – 2017. – № 864. – С. 49-62.
21. Волочій Б.Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум / Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”, 2012. – 128 с.

Received (Надійшла) 07.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Researching the influence of core modules aging of a fault-tolerant majoritarian system on the its reliability indicators value

Bohdan Volochiy, Vasyl Yakubenko, Yurii Salnyk, Mykhailo Zmysnyi

Abstract. The article proposes a reliability model of a fault-tolerant majoritarian system with the {2 of 3} voting rule. In this model the effect of aging of both: the first set of core modules and reserve modules, which are included in the core during operation, is taken into account in an original way. Also, the traditional "false" determination of core failure rate of the majoritarian structure has been corrected. Consideration of the listed features in the model provides significant improvement of veracity the reliability indicators of such a system. The high level of adequacy of the reliability model makes it usable for solving problems of reliability synthesis of fault-tolerant majority-type systems. For example, to define the needed (minimum) number of redundant modules for a specified duration of operation of a fault-tolerant majoritarian type system without maintenance.

Keywords: reliability, fault-tolerant system, reliability designing, majority structure, sliding redundancy.

О. О. Казіміров¹, К. В. Власов¹, П. М. Онипченко², І. Л. Костенко²

¹ Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ОРІЄНТУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО ПУНКТУ УПРАВЛІННЯ

Анотація. Ефективність системи автономного електроживлення, побудованої на основі використання сонячної енергії, істотно залежить від орієнтування сонячних панелей такої системи відносно Сонця. **Мета роботи** - провести порівняльний аналіз різних способів орієнтування сонячних панелей системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління та визначити найбільш ефективний з цих способів. В статті проводиться аналіз основних способів орієнтування за Сонцем сонячних панелей. Розглядаються стаціонарні і мобільні способи монтажу сонячних панелей та проводиться їх порівняння з точки зору простоти виконання та ефективності функціонування. За результатами проведеного в статті аналізу найбільш ефективним виявляється спосіб із застосуванням сонячного трекеру. Сонячний трекер забезпечить автоматичне орієнтування сонячних панелей за Сонцем як по азимуту, так й по висоті протягом всього року та часу доби. Результати статті можуть бути використані під час проектування та побудови автономних систем електроживлення стаціонарних об'єктів.

Ключові слова: сонячна енергія, сонячна панель, фотоелектричний модуль, кут падіння сонячних променів, сонячний трекер.

Вступ

Постановка проблеми. Серед альтернативних джерел енергії найбільший інтерес викликає енергія Сонця. Географічні умови розташування України, дозволяють отримувати потрібну кількість сонячної енергії протягом усього року [1]. Одним із елементів систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії є сонячна панель, що містить декілька фотоелектричних елементів (модулів) та призначена для перетворення енергії Сонця в електричну [2]. Чим більше енергії несе падаючий на фотоелектричний елемент (модуль) сонячної панелі промінь Сонця, тим більше електрики вона виробляє.

Електроенергія, яку можна зняти з контактів сонячної панелі, багато в чому залежить від орієнтації панелі відносно Сонця. Зазвичай при експлуатації сонячних панелей обмежуються загальною дисперсією сонячного світла, часто приблизно виставляючи батарею в напрямку Сонця. Сонячні панелі встановлюються, як правило, в певному робочому положенні. Однак, практика, показує, що фотоелектричні елементи генерують максимальну енергію тільки коли вони розташовуються точно перпендикулярно напрямку сонячних променів, а це може статися тільки один раз в день. В інший час ефективність роботи сонячних елементів складає менше 10% [3]. Положення Сонця на небі, а отже і кут падіння сонячних променів змінюється як із зміною часу доби, так і при зміні пори року. Тому, при монтажі систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії необхідно передбачити можливість зміни розташування площини сонячних модулів як протягом року, так й протягом доби. Ідеальним було б якби процес орієнтування сонячних панелей за Сонцем відбувався автоматично.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нажаль, дослідження та публікації з питань сонячної енергетики [4, 5], що на сьогодні відомі, не розгля-

дають в сукупності та не проводять порівняльний аналіз різних способів монтажу сонячних панелей систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії. В більшості робіт [6, 7], пропонується стаціонарне встановлення сонячних панелей під кутом, який відповідає широті місцевості на якій проводиться побудова система.

Метою статті є проведення порівняльного аналізу різних способів орієнтування сонячних панелей системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління та визначити найбільш ефективний з цих способів.

Виклад основного матеріалу

Для отримання максимальної кількості сонячної енергії потрібно виконати наступні умови [8]:

- забезпечити максимально можливу освітленість фотоелементів, без найменшого їх затемнення навколишніми об'єктами, наприклад, деревами або конструкціями будівель;

- орієнтувати площину фотоелектричних елементів строго перпендикулярно сонячним променям.

Якщо з першим пунктом зазвичай не виникає особливих проблем, так як типова установка панелі передбачає монтаж на даху будівель або на землі на відкритій місцевості, то точно виконати другий пункт виявляється не дуже просто.

Кут падіння сонячних променів змінюється як протягом дня, так і при зміні пори року (рис.1). Значить, ідеальна сонячна панель повинна теж постійно міняти свій кут нахилу, повертаючись до сонця. Інше питання, наскільки сильно зміниться продуктивність реальної панелі при деяких відмінностях від ідеальної, викликаних конструктивними обмеженнями установки.

Фотоелектричні модулі, виходячи із способів їх використання можна розділити, по-перше, на два основних типи:



Рис. 1. Освітленість фотоелектричного модулю, встановленого на даху будівлі в різну пору року

- стаціонарні, постійного встановлення;
- мобільні, що пересуваються по мірі необхідності з місця на місце.

І хоча використання мобільних модулів набирає обертів, їх все ширше використовують в польових умовах туристи, геологи, їх розміщують на дахах трейлерів і пересувних будинків, найпоширенішим є перший варіант - стаціонарний. Такі елементи можуть бути встановлені:

- на даху будівель і споруд, сюди ж відносяться козирки і навіси;
- на стінах будинків;
- на землі.

Кожен і спосіб має свої переваги і недоліки. Наприклад, модуль, що стоїть на землі, дешевше в установці і більш простий в обслуговуванні, але зате забирає корисну площу ділянки, а також може затінювати знаходячись поруч об'єктами. Дахові ж споруди складніше змонтувати і обслужити, зате ризик пошкодження панелі набагато менше.

При стаціонарній установці фотоелектричного модулю на даху або стінах будівель і споруд забезпечити слідування модулю за Сонцем практично неможливо. Найпростіший приклад такої установки - монтаж сонячних панелей в площині даху. У тому випадку, якщо скат даху будинку орієнтований на південь і має кут нахилу, близький до широти місцевості, найпростіший спосіб - установка фотоеле-

ментів безпосередньо на площину даху. Це коштує недорого, просто в обслуговуванні, і втрати енергії будуть незначними.

Трохи більш досконалий варіант, що дозволяє зловити більше сонячної енергії – це установка сонячної панелі на кронштейни, що забезпечують заздалегідь розрахований оптимальний кут.

Іноді такої пристрій дозволяє вручну змінювати кут нахилу фотоелементів два раз на рік - взимку та влітку.

Найбільш доцільним способом установки являється установка на землі [9]. Окрім дешевизни установки та простоти в обслуговуванні, на землі простіше вирішити питання орієнтування площини фотоелектричних елементів відповідно до положення Сонця.

Найпростіше – змонтувати сонячні панелі на землі повністю нерухомі, направлені на південь під кутом що дорівнює широті місцевості.

Якщо конструкція для монтажу сонячних панелей передбачає зміну кута нахилу вручну, можна поступити наступним чином. Монтують сонячні панелі, спрямовуючі їх на південь, а кут нахилу змінюють в залежності від пори року. Навесні і восени виставляють кут нахилу сонячної панелі, рівний широті місцевості.

Взимку до широти додавати 10-15 градусів, а влітку від широти віднімати 10-15 градусів [10] (рис.2).

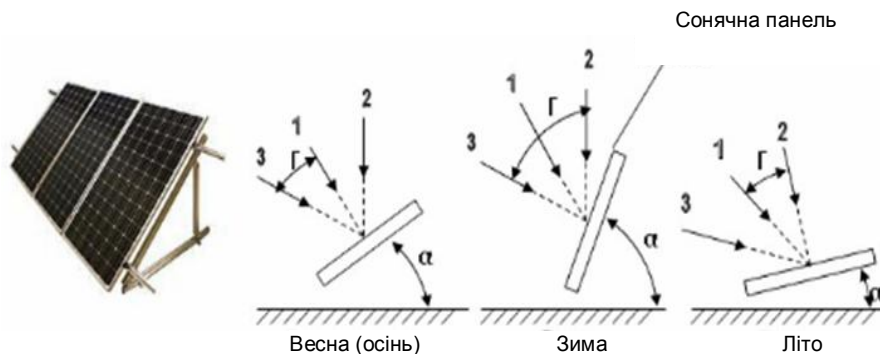


Рис. 2. Кут нахилу сонячних панелей за порою року

Але, якщо на додаток до цього сонячну панель протягом дня повертати за Сонцем, то можна істот-

но підвищити віддачу від сонячних елементів. Однак вручну здійснювати такий процес складно. Для

цього може використовуватися автоматичний пристрій стеження за положенням Сонця, або сонячний трекер [11] (рис. 3).

Роботу сонячного трекера забезпечують дві основні частини [12]: механічна та електрична. Перша з них об'єднує механізм, що приводить в рух сонячну панель, друга - електронну схему, що управляє цим механізмом. Обертання здійснюється механічною частиною трекера за допомогою двигуна. Електронна частина трекера відстежує положення Сонця та надає електронну команду на встановлення панелі в потрібному напрямку. Електронна частина має два фотодіоди. При русі Сонця освітленість фотодіодів стає різною. Електронний регулятор аналізує освітленість і формує сигнали управління які пода-

ються на двигун механічної частини до моменту, коли потік світла на обох фотоелементах не стане однаковим. Як тільки Сонце зміститься на захід, електронний регулятор запустить електродвигун до тих пір, поки знову не відновиться потрібний напрямок панелі на Сонце. Таким чином, у будь-який момент добового руху Сонця площина сонячної панелі буде перпендикулярна напрямку сонячних променів.

Якщо конструкцію трекера доповнити блоком вертикального відхилення, то можливо повністю автоматизувати орієнтацію сонячної панелі в обох площинах.

Існує велика кількість різновидів комплектації трекера (рис. 3).

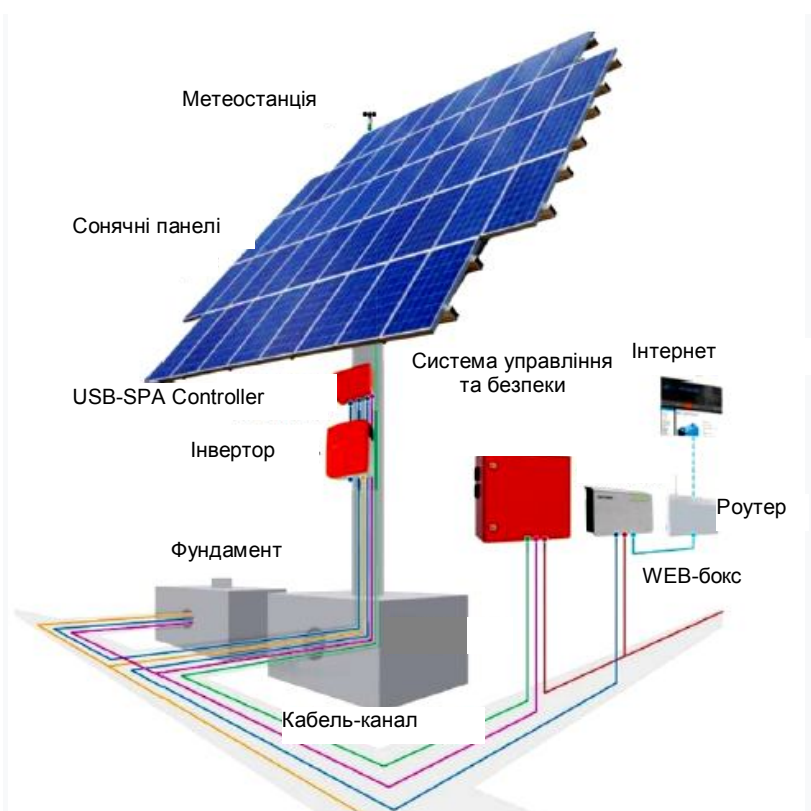


Рис. 3. Сонячна панель с трекером в повній комплектації

Склад трекера може включати [13]:

- несучу частину або фундамент;
- рухому частину, яка задає горизонтальну, вертикальну або комбіновану осі повороту;
- пристрої управління рухомою частиною, що складається з двигунів;
 - різні системи, що включають в себе бокс-системи управління і безпеки, стабілізатори, грозозахисту й метеостанції;
 - контролер системи управління для налаштування і обслуговування енергосистеми;
 - роутер з підключенням до інтернету для відправки статистичних даних та моніторингу системи або, іншими словами, віддаленим доступом;
 - систему навігації для визначення географічного положення (на стаціонарних трекерах система навігації застосовується рідко).

Найчастіше економічно невигідно повністю комплектувати трекер, більшість даних елементів не встановлюються для здешевлення конструкції.

Спосіб орієнтування сонячних панелей з використанням трекера максимально близький до ідеального, проте має свої слабкі сторони: трекери дорогі в установці і експлуатації і споживають електричну енергію. Проте, ефективність систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії без трекера (орієнтованих на південь з дотримання кута нахилу по широті) становить 70-75% від ефективності систем з трекером [14].

Висновок

Таким чином, для системи автономного електроживлення стаціонарного пункту управління, що побудована на основі використання сонячної енергії

можливо виділити три основні способи орієнтування сонячних панелей, які треба враховувати при їх монтажі:

- повністю нерухомі, направлені на південь під кутом що дорівнює широті місцевості;
- частково нерухомі, направлені на південь під кутом який може змінюватися в залежності від пори року;

- рухомі, азимут спрямування (кут нахилу) площини панелі встановлюється автоматично за допомогою сонячного трекера.

Найбільш ефективним являється спосіб із застосуванням сонячного трекера. Сонячний трекер забезпечить автоматичне орієнтування сонячних панелей за Сонцем як по азимуту, так й по висоті протягом всього року та часу доби.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об'єкту / О.О. Казіміров, К.В. Власов, А.І. Куртов, А.І. Потіхенський // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - № 1(147). - 2017. - С. 58–61.
2. Конфігурація системи автономного електроживлення військового об'єкту на основі використання сонячної енергії / О.О. Казіміров, К.В. Власов, І.М.Майборода, І.Л.Костенко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - № 4(60). - 2019. - С. 66–72.
3. Sunmodule Plus solar panels – Режим доступу: <http://www.solarworldusa.com/products-and-services/sunmodule-solar-panels>.
4. Воробьев Р.Н. Некоторые проекты использования солнечной энергии в энергетике / Воробьев Р.Н., Прохорова З.П. – М.: Маска, 2014. – 64 с.
5. Аржанов, К.В. Двухкоординатная система наведения солнечных батарей на Солнце / К.В. Аржанов // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 4. – С. 139-146.
6. Solar photovoltaic output depends on orientation, tilt, and tracking [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=18871>.
7. Miller D. Selling Solar. The Diffusion of Renewable Energy in Emerging markets. – London: Sterling, VA, 2009. – 306 p.
8. Офіційний сайт SOLAR-BATTERY.COM. Солнечные батареи. Режим доступу: <https://solar-battery.com.ua/printsiplnaya-shema-podklyucheniya-solnechnyih-batarey/>.
9. Офіційний сайт GREENLOGIC.COM. Солнечные станции. Режим доступу: <http://greenlogic.com.ua/baza/solnechnaya-insolyatsia-ua.html>.
10. Офіційний сайт TCIP.RU. Угол наклона и ориентация солнечных батарей для максимальной производительности. Режим доступу: <https://tcip.ru/blog/solar-panels/ugol-naklona-i-orientatsiya-solnechnyh-batarej-dlya-maksimalnoj-proizvoditelnosti.html>
11. Солнечный контроллер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sibcont.com.ru>.
12. Ю. Студёнов, Солнечные трекеры: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/>.
13. Поворотное устройство для слежения за Солнцем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.selteq.com>.
14. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурьгин, В.В. Аржанов, А.В. Осипов, О.А. Теущаков, К.В. Аржанов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2(24). – Ч. 1. – С. 282-287.

Received (Надійшла) 01.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2021

Orientation of solar panels of autonomous power supply systems of a stationary control center

Oleksandr Kazimirov, Konstantyn Vlasov, Pavlo Onypchenko, Igor Kostenko

Abstract. Solar energy is the main type of alternative energy nowadays. First off all, solar energy is ecologically clean. Secondly, as long as the Earth exists, the sun's energy will be inexhaustible. The advantages of solar energy are renewability of this type of energy, the quiet, the reprocessing of solar radiation into other forms of energy without harmful emissions into the atmosphere. Autonomous power supply systems, built on the basis of the use of solar energy includes next main elements: solar panel, inverter, rechargeable battery, controller. A solar panel consists of several photoelectric elements (modules). It is designated for the conversion the sun energy to electricity. The power generated by the solar panel is dependent on its orientation relative to the sun. As a rule, solar panels are installed in some working position. However, photoelectric elements generate maximum energy if they are located strictly perpendicular to the sun's rays. And this happens only once a day. The position of the Sun in the sky, and, consequently, the angle of incidence of the sun's rays, changes not only during the day, but also with change season. Therefore, in such autonomous electric power supply systems, the possibility of changing the position of the solar panels relative to the Sun is necessary. **The purpose** of the work is to carry out a comparative analysis of various methods of orienting solar panels for autonomous power supply systems based on the use of solar energy and to determine the most effective of these methods. This article analyzes the main methods for orienting solar panels along the Sun. Stationary and mobile methods of mounting solar panels are considered and compared from the point of view of their simplicity and efficiency of functioning. According to the results of the analysis carried out in the article, the most effective method is using a solar tracker. The solar tracker will provide automatic orientation of solar panels to the Sun both in azimuth and in altitude throughout the year and time of day.

Keywords: solar energy, solar panel, photoelectric module, angle of incidence of sunlight, solar tracker.

Л. І. Леві, О. Є. Зима

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

СУЧАСНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Анотація. Одним з ключових питань синтезу систем автоматичного регулювання є розробка адекватних математичних моделей об'єктів керування. Розробка моделей фізичних систем - це дуже складна і трудомістка робота, яка займає від 80 до 90 % зусиль, необхідних для аналізу і синтезу систем керування, і включає такі етапи: визначення параметрів процесу, які впливають на об'єкт керування; визначення зв'язків між параметрами; складання матеріальних та енергетичних балансів об'єктів керування; лінеаризація цих балансів; одержання диференціального рівняння. Результатом моделювання майже всіх технологічних об'єктів є складне диференціальне рівняння великого порядку, яке надалі використовується для розрахунку систем автоматичного регулювання. Під математичною моделлю зазвичай розуміють сукупність співвідношень (рівнянь, логічних умов, операторів тощо), що визначають характеристики станів об'єкту моделювання. Сучасні наука й технологія як об'єкти дослідження розглядають матеріальні об'єкти навколишнього світу та їхні фізико-хімічні перетворення. Практична реалізація цих досліджень від лабораторних установок до промислових виробництв використовує моделювання як процес пізнання, а також для оптимальної організації, функціонування й керування виробництвом. Сучасним технологіям притаманна висока складність, яка виявляється у великій кількості й різноманітності параметрів, що визначають хід процесів, внутрішніх зв'язків між параметрами, у їхньому взаємному впливі, причому зміна одного параметра може викликати нелінійну зміну інших параметрів. Ця складність підсилюється при виникненні множинних зворотних зв'язків між параметрами, а також неконтрольованими збуреннями, випадковим чином розподіленими в часі. Інформаційний потенціал, генерований технологічними процесами, надзвичайно великий. При обмежених можливостях його сприйняття необхідно зменшувати цей потенціал, що остаточно призведе до скорочення альтернатив під час прийняття керуючих рішень. Це досягається пізнанням процесу через моделі - спрощені системи, які відображають окремі, обмежені в потрібному напрямку, сторони процесу, що розглядається. Існує багато способів одержання моделей технологічних процесів. Кожен спосіб дає можливість побудувати модель, адекватну процесу в певному сенсі, що залежить від обраного критерію. Це означає, що існує деяка абстрактна відповідність між безліччю моделей і модельованим об'єктом. Моделювання, власне кажучи, засновано на використанні динамічної аналогії, яка означає нетождну подобу властивостей або співвідношень.

Ключові слова: детерміновані моделі стохастичні моделі, структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація, пасивний експеримент, активний експеримент.

Вступ

Постановка проблеми. Одним з ключових питань синтезу систем автоматичного регулювання є розробка адекватних математичних моделей об'єктів керування. Розробка моделей фізичних систем - це дуже складна і трудомістка робота, яка займає від 80 до 90 % зусиль, необхідних для аналізу і синтезу систем керування, і включає такі етапи [1]:

визначення параметрів процесу, які впливають на об'єкт керування; визначення зв'язків між параметрами;

складання матеріальних та енергетичних балансів об'єктів керування; лінеаризація цих балансів; одержання диференціального рівняння.

Результатом моделювання майже всіх технологічних об'єктів є складне диференціальне рівняння великого порядку, яке надалі використовується для розрахунку систем автоматичного регулювання. Під математичною моделлю зазвичай розуміють сукупність співвідношень (рівнянь, логічних умов, операторів тощо), що визначають характеристики станів об'єкту моделювання.

Сучасні наука й технологія як об'єкти дослідження розглядають матеріальні об'єкти навколишнього світу та їхні фізико-хімічні перетворення. Практична реалізація цих досліджень від лабораторних установок до промислових виробництв використовує моделювання як процес пізнання, а також

для оптимальної організації, функціонування й керування виробництвом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасним технологіям притаманна висока складність, яка виявляється у великій кількості й різноманітності параметрів, що визначають хід процесів, внутрішніх зв'язків між параметрами, у їхньому взаємному впливі, причому зміна одного параметра може викликати нелінійну зміну інших параметрів. Ця складність підсилюється при виникненні множинних зворотних зв'язків між параметрами, а також неконтрольованими збуреннями, випадковим чином розподіленими в часі [2 - 9]. Інформаційний потенціал, генерований технологічними процесами, надзвичайно великий. При обмежених можливостях його сприйняття необхідно зменшувати цей потенціал, що остаточно призведе до скорочення альтернатив під час прийняття керуючих рішень. Це досягається пізнанням процесу через моделі - спрощені системи, які відображають окремі, обмежені в потрібному напрямку, сторони процесу, що розглядається. Існує багато способів одержання моделей технологічних процесів. Кожен спосіб дає можливість побудувати модель, адекватну процесу в певному сенсі, що залежить від обраного критерію. Це означає, що існує деяка абстрактна відповідність між безліччю моделей і модельованим об'єктом. Моделювання, власне кажучи, засновано на використанні динамічної аналогії, яка означає нетождну подобу властивостей або співвідношень.

Формулювання мети статті. Моделювання передбачає побудову моделі будь-якого характеру, що має властивості (або характеризується співвідношеннями), подібні до властивостей або співвідношень досліджуваної природної або технічної системи. Таким чином можна імітувати роботу системи й приймати попередні рішення щодо оптимізації її характеристик. До мети моделювання можна віднести:

- обґрунтування вірогідності математичного описання;
- одержання функціональних зв'язків між величинами;
- порівняння кінцевого числа стратегій рішення індивідуальної проблеми;
- ідентифікація системи, яку моделюють;
- оптимізація моделі;
- вибір цільових функцій;
- застосування моделювання для навчання й тренування.

Основна частина

Дослідження методом моделювання варто починати з розробки моделі й продовжувати в ході роботи з нею. Мета такого дослідження - визначення поведінки досліджуваної системи. Практично не існує обмежень щодо характеру системи. Предметом нашого вивчення є різноманітні технологічні системи [1]. Моделювання систем поєднує в собі моделі об'єкта з одного боку й способи відображення їх функціонування з іншого. І чим глибше цей взаємозв'язок відображено в моделі, тим кращий результат можна очікувати від моделювання. При цьому моделі повинні найбільш точно відповідати методам і цілям моделювання.

Умови, що накладаються цілями моделювання, визначають методи й критерії класифікації моделей.

Можливі методи створення моделей відображено на рис. 1.



Рис. 1. Методи створення моделей

Теоретичний - припускає створення моделі на основі відомих законів фізики, механіки, які описують основні, з погляду поставленої мети, процеси, що відбуваються в об'єкті. Експериментальний (або ідентифікація) - припускає побудову моделі на основі результатів експерименту, проведеного з реальним об'єктом. Своєю чергою експериментальний метод побудови моделі можна розділити на такі різновиди.

- структурну ідентифікацію, за допомогою якої визначається структура моделі на підставі результатів експерименту, проведеного з реальним об'єктом;

- параметричну ідентифікацію, за допомогою якої визначаються параметри моделі, структура якої визначена раніше, на підставі результатів експерименту, проведеного з реальним об'єктом.

Можна виділити такі види моделей, які показані на рис. 2.

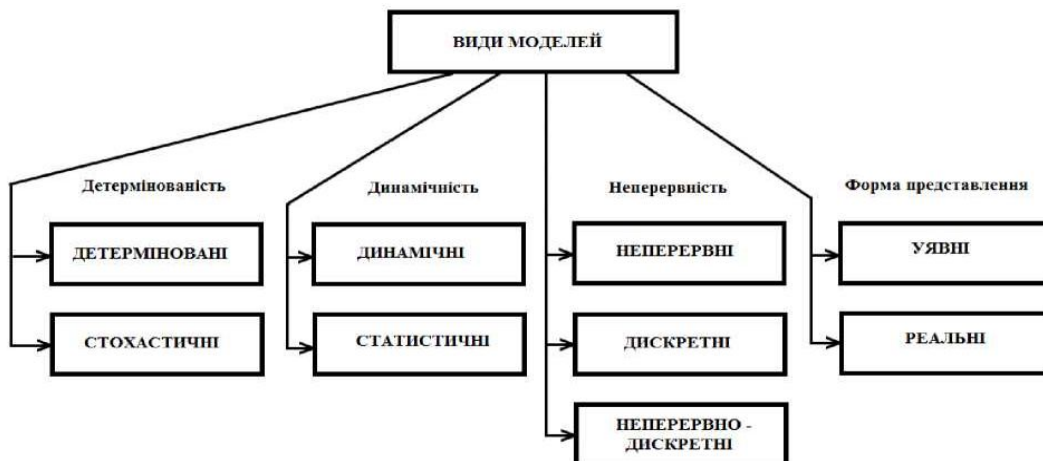


Рис. 2. Види моделей

Залежно від характеру досліджуваних (моделюваних) процесів моделі можна класифікувати за такими ознаками. *Детерміновані моделі*, у яких використовуються детерміновані залежності без урахування внутрішніх факторів і впливів зовнішнього середовища, що носять випадковий характер. *Стохастичні моделі*, які відображають імовірнісні й випадкові процеси в об'єкті. При цьому використовується математичний апарат статистики й імовірнісних процесів. *Статичні моделі* - це моделі, які

відображають особливі статичні режими, коли процеси, що відбуваються в об'єкті, не залежать від часу. *Динамічні моделі* - це моделі, які відображають процеси, що відбуваються в об'єкті, в часі. При цьому час є одним з параметрів моделі. *Неперервні моделі* - це моделі, які відображають зміну параметрів процесів, що відбуваються в об'єкті, протягом усього часу дослідження й (або) уздовж координат об'єкта безперервною залежністю. Математичним апаратом даного типу моделей є диференціальні

рівняння. *Дискретні моделі* - це моделі, які відображають параметри процесів у певні моменти часу й (або) у певних точках об'єкта. Застосований математичний апарат - різниці рівняння. *Неперервно-дискретні моделі* - це моделі, які поєднують у собі властивості безперервних і дискретних моделей. Наприклад, безперервна зміна параметрів у часі й дискретна - в просторі [1].

Процес розробки моделі включає такі етапи.

1. Постановка задачі й визначення властивостей реального об'єкта, що підлягають дослідженню.

2. Констатація складності або неможливості дослідження реального об'єкта.

3. Вибір моделі, що добре фіксує основні властивості об'єкта з одного боку, і що легко піддається дослідженню з іншою. Модель повинна відображати основні властивості об'єкта й не повинна бути громіздкою.

4. Дослідження моделі відповідно до поставленої мети (проведення експериментів).

5. Перевірка адекватності об'єкта й моделі. Якщо немає відповідності, то необхідно повторити перші чотири етапи.

6. Остаточний вибір моделі.

Кожний з етапів є дуже важливим для отримання адекватної моделі. Однак необхідно приділити особливу увагу 4-му етапу. Проведення експериментів є складним етапом, часто довготривалим, а можливо й небезпечним. Застосування складного обладнання або устаткування, що знаходиться у промисловому використанні, робить цей етап досить коштовним. Тому проведення етапу експериментальних досліджень необхідно ретельно планувати та готувати.

За способом проведення експериментальні дослідження можна поділити на такі види.

- Виробничий (пасивний) експеримент - це відтворення на натурному об'єкті основних режимів виробничого процесу для подальшого дослідження. В якості збурюючих впливів використовуються природні випадкові зовнішні та внутрішні збурення. Процес ведеться виключно в рамках технологічного регламенту, не наближаючись до небезпечної межі.

- Науковий (активний) експеримент - це відтворення на натурному об'єкті якісно нових режимів, збільшення технічних границь. Реальний об'єкт використовується в якісно нових умовах функціонування або при впливі нових чинників зовнішнього середовища з подальшим обробленням результатів. Збурення вносять примусово за попередньо розробленою програмою. Такий підхід вимагає ретельної підготовки та планування.

- Комплексний експеримент - поєднує в собі елементи наукового й виробничого експериментів.

За способом відтворення процесів на моделях (моделювання) можна виділити такі види:

- моделювання у реальному масштабі часу - здійснюють постановку експерименту в однакових масштабах часу як для об'єкта, так і для моделі;

- моделювання у нереальному масштабі часу - при постановці експерименту масштаби часу для моделі й об'єкта різняться на деяку величину.

Можна виділити класичний і системний підходи до завдання побудови моделей. Суть методу полягає в тому, що реальний досліджуваний об'єкт розбивається на окремі компоненти і вибираються певні цілі формування окремих компонентів моделі. Потім, на основі вихідних даних, створюються компоненти моделі, сукупність яких, з урахуванням їх взаємодії, поєднується в модель. Даний метод є індуктивним, тобто модель будується від окремого до загального (від окремих компонентів до повної моделі). Класичний підхід використовується для моделювання відносно простих систем [1].

Моделювання широко застосовується в процесі дослідження, проектування та створення систем керування технологічними процесами [1]. Моделювання як метод дослідження об'єктів і систем керування є важливим етапом їх проектування. На основі розроблених моделей можна виконувати аналіз та синтез простих і складних систем керування, вирішувати питання їх оптимізації, а також прогнозувати якість роботи. У вітчизняній практиці слово «моделювання» відповідає англійському "Modelling" (або американському "Modeling"), тобто побудові моделі та її аналізу, включаючи оцінку адекватності. Англійському "simulation" традиційно відповідає або «імітаційне моделювання» або «обчислювальний експеримент», тобто розробка комп'ютерної моделі й робота з нею. У той же час «обчислювальний експеримент» наявний у сучасній науці моделювання. Усі ці терміни насправді описують певний ряд технологічних операцій, які виконуються в процесі створення, верифікації й використання математичних моделей.

Говорячи про керування процесом моделювання, частіше використовують терміни стан (state), подія (event) і об'єкт (entity - буквально «сутність»). Відповідно до цього сам процес включає Event management, Queues management, Time management та Model management. Стан у моделюванні приблизно відповідає поняттю стану в теорії керування - це сукупність змінних моделі, що описують систему в кожний момент часу. Події - це дії, що призводять до зміни стану системи. Об'єкти - це дійсно сутності (об'єкти реального світу), представлені в моделі. Для них визначається стан, і на них спрямовані впливи.

Програма моделювання включає черговість подій (Event management, Queues management), у тому числі допускається й випадковий порядок подій. Time management визначає порядок урахування часу (у найпростішому випадку час тече рівномірно). У випадку моделювання декількох процесів, що відбуваються у різних масштабах часу, можна скористатися так званним Stepped simulation (покрокове моделювання). Model management описує взаємодію моделі з користувачем. Особливу роль в останні роки набув «дружній інтерфейс» (аудіовізуальне подання результатів моделювання, 3D-графіка). Крім того, у складних випадках Model management підтримує стійкість самого процесу моделювання, відслідковує закінчення певних стадій, одержання потрібного обсягу даних, перехід до наступних етапів процесу й визначає момент закінчення процесу.

Одним з головних показників якості процесу розроблення моделі є її адекватність. Під адекватністю моделі розуміють відповідність властивостей (функцій/параметрів/характеристик тощо) моделі і відповідних властивостей об'єкта, який досліджують за допомогою моделі [1]. Очевидно, що мінливість досліджуваного об'єкта робить поняття адекватності відносним. І з цього можна зробити висновок, що певна модель в деяких випадках може ідентифікуватися як адекватна, а в інших - як неадекватна. Залежить це від ступеня поінформованості про властивості об'єкта. Чим менше поінформованість, тим більше ймовірність отримати неадекватну модель. Про адекватність моделі як практичного інструмента треба судити не тільки й навіть не стільки по тому, наскільки близько математичний опис до фізиці реального життя. Може статися, що рекомендації й рішення, які отримані на основі деякої свідомо «неадекватної» моделі, задовольняють існуючим реальним потребам. У таких випадках більш адекватні моделі не розробляються зовсім, або залишаються непотрібними навіть будучи розробленими. Твердження про адекватність моделей у теорії й практиці керування передусім диктується розв'язуваною задачею. Інтегрована модель керування складною системою адекватна своїй меті тільки тоді, коли вона дозволяє досягати поставлених цілей. Якщо деяка задача може бути розв'язана без строгої математичної моделі, наприклад, за допомогою «евристичних» рекомендацій, алгоритмів або рішень, то до реального моделювання об'єкта справа може й не дійти. Тому відсутність математичного опису парадоксальним чином можна вважати найпростішою «адекватною» моделлю процесу за відсутності самої необхідності в моделюванні. Адекватність моделі зв'язана тільки з можливістю її практичного використання. Будь-які явища, що виявлено в обчислювальному експерименті, вимагають підтвердження в реальному експерименті. Підтвердження адекватності моделі в принципі триває на будь-якому етапі роботи з моделлю. І робиться це саме порівнянням із практикою. Відмінність очікуваного за моделлю й реального ходу процесу вимагає уточнення моделі.

Ідентифікацією називається оптимальна в певному розумінні модель, яка побудована за результатами спостережень над вхідними та вихідними змінними об'єкта [10]. Задачею ідентифікації називається обернена задача системного синтезу. Виділяють два типи задач ідентифікації.

1. Структурна ідентифікація.
2. Параметрична ідентифікація.

Структурна ідентифікація - це складна задача, яка зазвичай потребує творчого підходу. Головна мета - визначення структури моделі. При цьому об'єкт розглядається як «чорна скринька», тобто інформація про його структуру відсутня. Для розв'язання задачі структурної ідентифікації можна запропонувати лише загальний алгоритм у вигляді певних рекомендацій.

1. Визначитися з типом (класом) моделі.

а) якщо можливо, будувати фізичну модель (за відомими законами фізики, пам'ятаючи про мету

побудови моделі);

б) побудову математичної моделі треба починати з найпростіших типів (лінійна, безперервна, одномірна тощо);

в) намагатися перетворити модель до вигляду лінійної регресії:

2. Визначитися з розмірністю або порядком моделі (встановлення кількості внутрішніх змінних моделі). Для цього варто розглянути коваріаційні (залежність від характеристик випадкових перешкод) та кореляційні (взаємозв'язок між певними двома внутрішніми змінними) матриці. Існує кілька методів дослідження коваріаційних і кореляційних матриць, які дозволяють встановити недостатність або надмірність моделі.

3. Перейти до параметричної ідентифікації (спосіб параметризації моделі).

Дані для розроблення моделі можуть бути отримані в результаті пасивного або активного експерименту. В ході пасивного експерименту дослідник не впливає на хід досліджуваного процесу. Усі зміни параметрів процесу обумовлені або випадковими збуреннями, або технологічним регламентом процесу. При активному експерименті дослідник планує зміни ходу технологічного процесу в програмі експерименту. У результаті активного експерименту спрощується процедура ідентифікації, але його проведення не завжди можливо. Для вибору класу моделі спочатку визначаються параметри моделі $F = (L, N, M)$, де L — лінійність, N — безперервність, M — багатомірність. Кожний із цих параметрів може приймати значення або 0, або 1. Найпростіша модель - $F = (1, 1, 0)$. Для ідентифікації моделі будуються критерії згоди. Найчастіше застосовують метод найменших квадратів. Метод найменших квадратів полягає в наступному. Нехай у результаті досліджень одержали деяку множину статистичних даних або даних експериментів. Якщо в якості аргументу виступає час, то маємо динамічний ряд [10]. Треба знайти аналітичний вигляд функції $y = f(x)$, яка добре відображала б залежність між цими одержаними даними. Функцію $y = f(x)$ можна шукати у вигляді інтерполяційного поліному. Але інтерполяційні поліноми не завжди добре відображають характер поведінки функції, що задана таблицею. До того ж значення у дістають у результаті експерименту, а вони, як правило, сумнівні. У цьому разі задача інтерполювання табличної функції втрачає сенс. Тому шукають таку функцію $y = F(x)$, значення якої при $x = x_i$ досить близькі до табличних значень y ($i = 1, 2, \dots, n$). Формулу $y = F(x)$ називають емпіричною, або рівнянням регресії у на x . Емпіричні формули мають велике практичне значення. Вдало підібрана емпірична формула дає змогу не тільки апроксимувати сукупність експериментальних даних, «згладжуючи» значення величини y , а й екстраполувати знайдену залежність на інші проміжки значень x .

Процес побудови емпіричних формул складається з двох етапів: встановлення загального вигляду цієї формули і визначення найкращих її параметрів. Щоб встановити вигляд емпіричної формули, на площині будують точки з координатами (x_i, y_i) ,

($z = 1, 2, \dots, n$). Деякі з цих точок сполучають плавною кривою, яку проводять так, щоб вона проходила якомога ближче до всіх даних точок. Після цього візуально визначають, графік якої з відомих нам функцій найкраще підходить до побудованої кривої. Зазвичай, намагаються підібрати найпростіші функції: лінійну, квадратичну, дробово-раціональну, степеневу, показову, логарифмічну. Встановивши вигляд емпіричної формули, треба знайти її параметри (коефіцієнти). Метод найменших квадратів не потребує жодної апріорної інформації. На практиці для моделювання динамічних систем як правило використовують лінійні динамічні стаціонарні моделі [2 - 9]. Р. Калманом було визначено такі властивості системи, як керованість, спостережуваність та ідентифікованість. Лінійна динамічна система називається повністю ідентифікованою по стану, якщо при заданому векторі початкових умов x існує керування, при якому параметри A, B, C можна

відновити з точністю до параметрів її канонічної форми (спостережуваності) за часовою послідовністю $x = x(t)$. Інакше, пара $((A, B, C), x_0)$ цілком ідентифікована тоді й тільки тоді, коли існує керування, при якому безліч пар, об'єднаних спільністю інтегральної кривої $x = x(t)$, вироджується при канонічному її описі в точку.

Висновки

Надано огляд сучасних інтелектуальних методів моделювання технологічних об'єктів, роль і місце моделей та моделювання, класифікацію моделей, підходи до розробки моделей. Наведено аналіз можливості застосування різноманітних видів математичних моделей для розв'язання задач оптимізації технологічних процесів промисловості. Показано для розв'язання яких задач доцільно використовувати саме детерміновані математичні моделі, а для яких – експериментально-статистичні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Математичне моделювання технологічних об'єктів: Підручник. / О.Б. Целіщев, П.Й. Єлісеєв, М.Г. Лорія, І.І. Захаров. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту. – 2011. – 421 с.
2. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления: учебное пособие / И.Г. Черноруцкий. — СПб.: Питер, 2004. — 256 с.
3. Стенцель Й.І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування. – К.: ІСДО, 1993. – 328 с.
4. Johnson M.A. PID Control. New Identifications and Design Methods / M.A. Johnson, M.H. Moradi. – London: Springer, 2005. – 544 p.
5. Дьяконов В.П. Mathcad 11,12,13 в математике / В. П. Дьяконов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 958 с.
6. Дорф Р. Современные системы управления/ Р. Дорф, Р. Бишоп. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. — 832 с.
7. Иванов А.О. Теория автоматического управления: Підручник / А.О. Иванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2003. – 250 с.
8. Теория автоматического управления / Л.М. Артюшин, О.А. Машков, Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. – Львів: УАД, 2004.– 272 с.
9. Алексеев А.А. Идентификация и диагностика систем: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Алексеев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопапов. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.
10. Стенцель Й.І. Ідентифікація та математичне моделювання / Й.І. Стенцель – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту. – 1995. – 247 с.

Received (Надійшла) 11.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

Modern intellectual methods of modeling complex technological objects

L. Lievi, O. Zyma

Abstract. One of the key issues in the synthesis of automatic control systems is the development of adequate mathematical models of control objects. Development of models of physical systems is a very complex and time-consuming work, which takes from 80 to 90% of the effort required for the analysis and synthesis of control systems and includes the following stages: determining the process parameters that affect the object of control; determination of connections between parameters; drawing up material and energy balances of control objects; linearization of these balances; obtaining a differential equation. The result of modeling of almost all technological objects is a complex differential equation of large order, which is then used to calculate automatic control systems. A mathematical model is usually understood as a set of relations (equations, logical conditions, operators, etc.) that determine the characteristics of the states of the modeling object. Modern science and technology as objects of study consider the material objects of the surrounding world and their physico-chemical transformations. The practical implementation of these studies from laboratory installations to industrial production uses modeling as a process of cognition, as well as for optimal organization, operation, and management of production. Modern technologies are characterized by high complexity, which is manifested in the large number and variety of parameters that determine the course of processes, internal relationships between parameters, their mutual influence, and the change of one parameter can cause nonlinear change of other parameters. This complexity is exacerbated by the occurrence of multiple feedbacks between parameters, as well as uncontrolled perturbations randomly distributed over time. The information potential generated by technological processes is extremely large. With limited perceptions, it is necessary to reduce this potential, which will ultimately lead to a reduction in alternatives when making management decisions. This is achieved by knowing the process through models - simplified systems that reflect individual, limited in the right direction, aspects of the process under consideration. There are many ways to obtain models of technological processes. Each method makes it possible to build a model that is adequate to the process in a sense, depending on the chosen criterion. This means that there is some abstract correspondence between the set of models and the modeled object. The simulation, in fact, is based on the use of a dynamic analogy, which means a non-identical similarity of properties or relations.

Keywords: deterministic models, stochastic models, structural identification, parametric identification, passive experiment, active experiment.

В. В. Мошаренков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ВІДОМЧИХ ЕТАЛОНІВ ТРИФАЗНОЇ НАПРУГИ

Анотація. Запропонований принцип побудови відомчих еталонів трифазних періодичних сигналів з регульованими параметрами (підвищення точності і стабільності завдання параметрів) формованих сигналів і більш високими метрологічними характеристиками на основі їх цифроаналогового синтезу із застосуванням методу кусково-східчастої апроксимації та сучасних досягнень мікросхемотехніки. Результати досліджень дозволяють на якісно новому рівні створювати відомчі еталони (вихідний та робочий) трифазної системи періодичних сигналів з більш високими метрологічними характеристиками.

Ключові слова: відомчий еталон трифазної напруги, кусково-східчастий сигнал, цифроаналоговий перетворювач, трифазний генератор періодичного сигналу, метрологічні характеристики.

Вступ

Стрімкий темп розвитку науки щодо вимірювання та вимірювальної техніки в останні десятиріччя сприяє появі нових підходів до принципів побудови засобів вимірювання й контролю та дозволяє зрозуміти подальший розвиток вимірювальної техніки.

Одним із найважливіших завдань для всіх галузей науки і техніки, що пов'язані із застосуванням вимірювань електричних величин (радіо та телебачення, енергетики, електроніки, зв'язку, оборони та наукових досліджень) – є вимірювання фазового зсуву у широкому діапазоні частот.

Тому досить важливим є забезпечення єдності вимірювань фазових зсувів за допомогою відомчих еталонів (вихідного та робочого) фазових зсувів (ВЕФЗ). Як вихідний ВЕФЗ розроблений і експлуатується еталон ВЕ 09-00-02-09, як робочий ВЕФЗ використовується калібратор фази Ф1-4 і електродинамічний фазометр Д 5000. Вихідний еталон виконаний за класичною морально застарілою схемою аналогового двофазного генератора. Те ж саме можна сказати і про калібратори фази Ф1-4, а фазометр Д 5000 є стрілочним приладом [1], що є суттєвим обмеженням для їх практичного застосування у вимірювальній техніці. Крім того, оскільки вони виконуються на аналогових однофазних генераторах синусоїдальних сигналів, то природньо, володіють тими же недоліками, а саме - невисокою точністю і стабільністю параметрів синусоїдальних сигналів, обмеженою нижньою межею по частоті, низькою швидкістю (з-за тривалих перехідних процесів при переналагодженні), ручним управлінням, відсутністю стандартного приладового інтерфейсу для використання у вимірювальних системах, складною апаратною реалізацією, низькою технологічністю виготовлення тощо [1–5].

Аналіз літератури. Аналіз недоліків сучасних трифазних генераторів [2–6] показує, що для забезпечення підвищеної точності та надійності вимірювань необхідно врахувати сучасні досягнення цифрової вимірювальної техніки у сфері генерації сигналів і мікросхемотехніки.

Усунення або зменшення цих недоліків можливо при використанні принципово нового напрямку в області генерації сигналів [6, 7]. Значною мірою задовольняють таким вимогам методи цифроаналогового

синтезу синусоїдальних сигналів, які засновані на формуванні кусочно-східчастих сигналів, апроксимуючих синусоїдальний сигнал. Такі методи пов'язані з новим напрямком в теорії сигналів – цифроаналоговим синтезом на основі одного з видів кусочно-східчастої апроксимації [7, 8].

Метою статті є розробка нового принципу побудови відомчих еталонів трифазної напруги з використанням цифроаналогового синтезу сигналів [8–14].

Основний матеріал

Під час метрологічного обслуговування засобів вимірювальної техніки безперервно підвищуються вимоги до характеристик їхніх вихідних сигналів. Класичні аналогові методи формування синусоїдальних сигналів практично вичерпали можливості подальшого збільшення точності, підвищення рівня автоматизації. Цих недоліків можна позбутися частково(повністю) при використанні принципово нового напрямку в області генерації сигналів. Певною мірою таким вимогам задовольняють методи цифроаналогового синтезу синусоїдальних сигналів, які засновані на формуванні кусочно-східчастих сигналів, апроксимуючих синусоїдальний сигнал. Вони пов'язані із застосуванням цифроаналогового синтезу на основі одного з видів кусочно-східчастої апроксимації.

Тому, пропонується розглянути розробку нового принципу побудови еталона на основі цифроаналогового синтезу із застосуванням методу кусково-східчастої апроксимації, за прикладом:

– структурної електричної схеми цифрового трифазного генератора періодичних сигналів, яка наведена на рис. 1;

– часової діаграми, що пояснює принцип формування трифазного синусоїдальної напруги – на рис. 2.

Цифровий трифазний генератор періодичних сигналів містить: блок управління (БУ), генератор (опорної) змінної частоти (ГОЗЧ), реверсивні лічильники (РЛ1, РЛ2, РЛ3), блоки реверсу (БР1, БР2, БР3), постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗПр1, ПЗПр2, ПЗПр3), цифроаналогові перетворювачі (ЦАП1, ЦАП2, ЦАП3), вихідні пристрої (ВПр1, ВПр2, ВПр3).

Призначення функціональних блоків і елементів генератору однозначно визначається їх функціонуванням і можуть бути виконані на серійних вітчизняних та закордонних інтегральних мікросхемах.

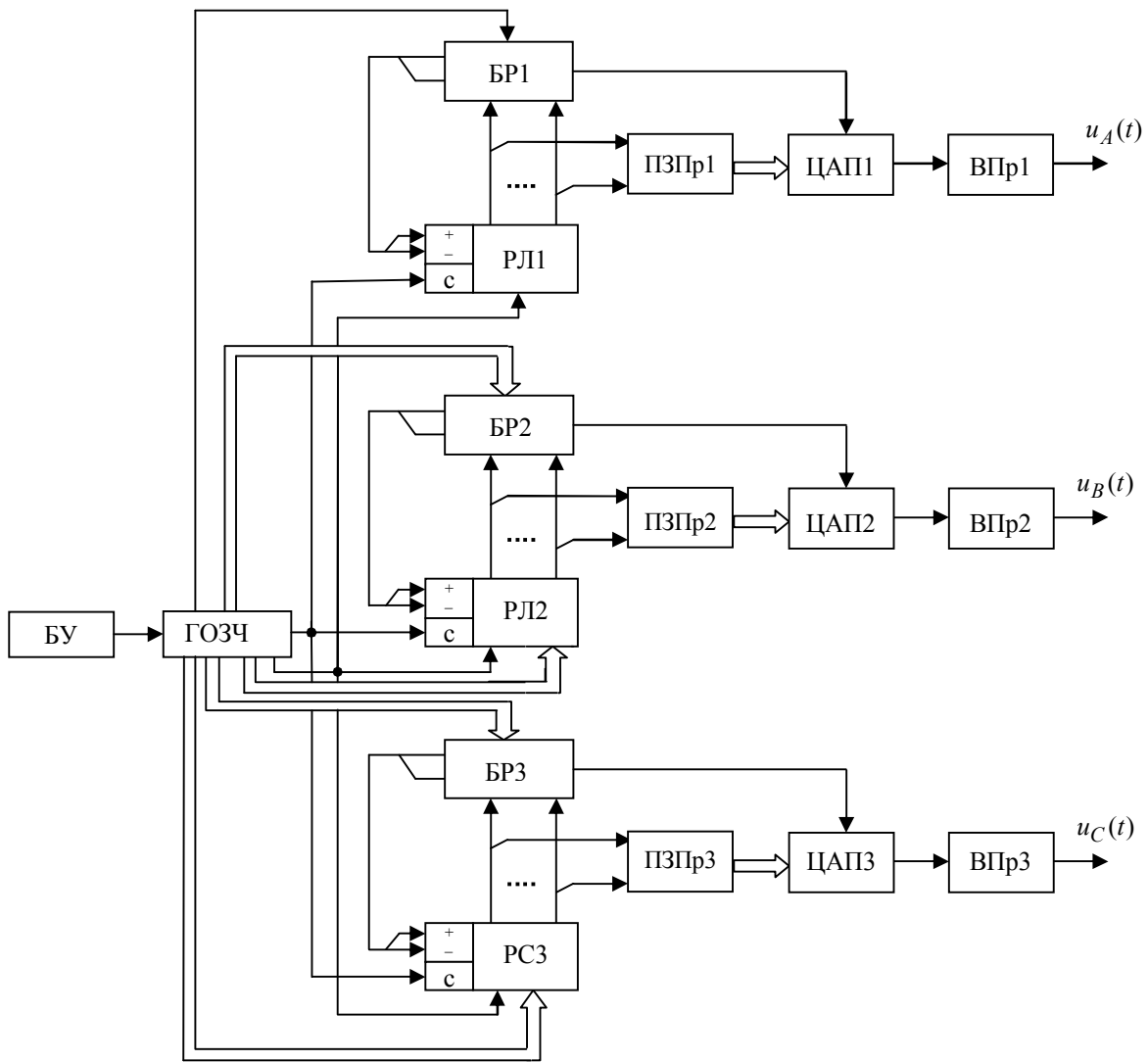


Рис. 1. Структурна схема цифрового трифазного генератора періодичних сигналів

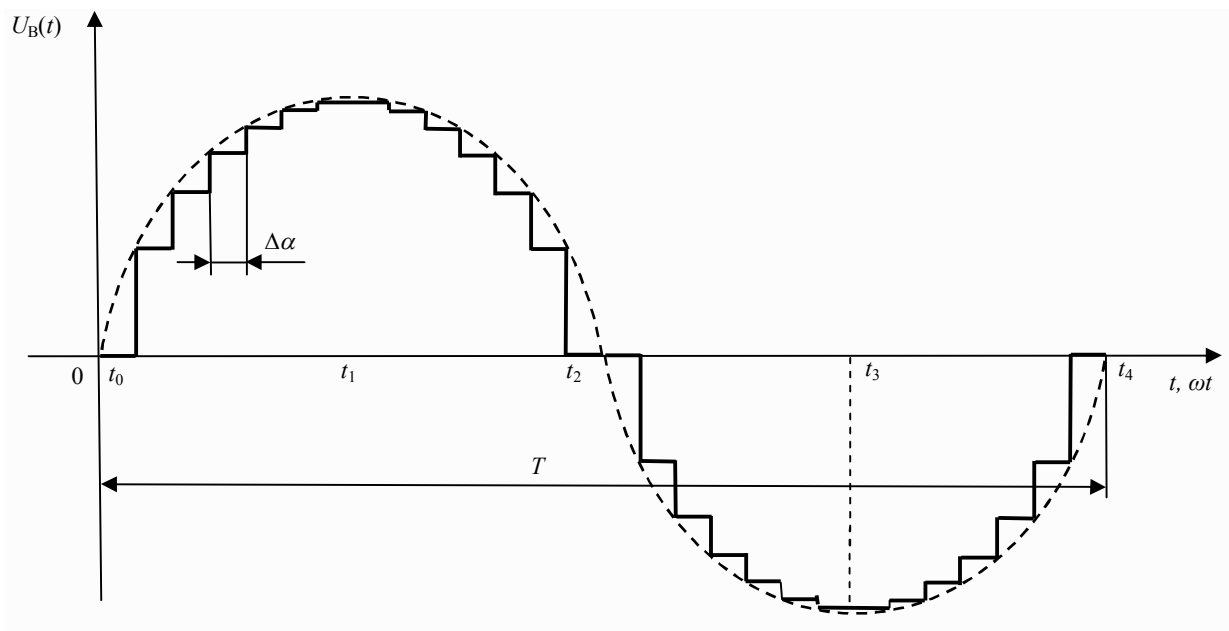


Рис. 2. Часова діаграма формування однофазного синусоїдальної напруги

Цифровий генератор працює наступним чином.

На першому виході БУ виробляється сигнал керування, зазвичай напруга, частотою ГОЗЧ, з виходу якого періодична послідовність імпульсів надходить на об'єднані рахункові входи з реверсних лічильників. Частота вихідних сигналів генератора, $u_B(t)u_C(t)$, визначається співвідношенням:

$$f = f_0/n,$$

де f_0 – зразкова частота проходження імпульсів ГОЗЧ; n – кількість сходинок апроксимації на період ($T = 1/fT = 1/f$) вихідних сигналів генератора.

Амплітуда вихідних сигналів встановлюється вихідними пристроями, які являють собою підсилювачі потужності з аттенуаторами. Це дозволяє регулювати амплітуду вихідних сигналів в широких межах незалежно від динамічного діапазону ЦАП. Завдання фазових зсувів вихідних сигналів генератора пояснимо нижче, а спочатку як приклад розглянемо принцип формування кусково-східчастого (квазисинусоїдного) сигналу будь-якої фази, наприклад, $u_B(t)$.

Нехай РЛ2 в початковому стані обнулений, сигнал на його виході дорівнює нулю (момент часу t_0 на рис. 2) і подається з виходу БР2 на його вхід реверсу, що встановлений в режим підсумування, а ЦАП2 сигналом з виходу БР2 на його вхід управління, який встановлений в режим формування позитивної напівхвилі напруги $u_B(t)$.

З надходженням кожного імпульсу частоти f_0 з ГОЗЧ стан РС2 отримує поодинокі прирощення (збільшення) і його наростаючим вихідним кодом здійснюється послідовне перемикавання адресів ПЗПр2, з виходу якого на кодовий вхід ЦАП2 послідовно вводяться коди миттєвих значень синусоїдальної функції $\sin q \Delta\alpha$, де:

$$\Delta\alpha = 2\pi f \Delta t, \quad \Delta t = T/n \quad \Delta t = T/n,$$

$$q = 0, (n/4-1)q = 0, (n/4-1).$$

На виході ЦАП2 формується перша чверть синусоїдальної напруги $u_B(t)$ до моменту часу t_1 (рис. 2). До цього моменту часу на РЛ2 надійде кількість імпульсів $n/4$, на виході БР2 утворюється сигнал, яким змінюється на протилежну полярність сигналу, що подається з його виходу на вхід реверсу РЛ2, лічильник перемикається в режим віднімання, а ЦАП2 залишається в тому ж стані.

З надходженням чергових $n/4$ імпульсів з

виходу ГОЗЧ показ РЛ2 зменшуються, і коди миттєвих значень $\sin q \Delta\alpha$ виводяться з ПЗУ2 на ЦАП2 у зворотному порядку. На виході ЦАП2 формується друга чверть синусоїдальної напруги $u_B(t)$ до

моменту часу t_2 , коли на РЛ2 надійде $n/4$ імпульсів на віднімання (або всього $n/2$ імпульсів). У цей момент часу в БР2 утворюється вихідний сигнал, який надходить на вхід управління ЦАП2, перемикаючи його полярність в режим формування негативної напівхвилі напруги $u_B(t)$ і встановлюючи РЛ2 в режим підсумування. Наступні перемикавання режиму роботи РЛ2 відбуваються в моменти часу t_3 (після надходження $n/4$ імпульсів на віднімання або всього n імпульсів). Таким чином, до моменту часу t_4 на виході ЦАП2, буде сформовано повний період синусоїдальної напруги $u_B(t)$, який через ВПр2 подається на вихід цифрового генератора. Надалі робота каналу формування напруги $u_B(t)$ періодично повторюється протягом надходження вхідних імпульсів РЛ2.

Аналогічно формуються напруги $u_C(t)u_C(t)$, відрізняються тільки вихідні стани РЛ1 і РЛ3 щодо вихідного стану РЛ2 в момент часу t_0 , які визначаються необхідними фазовими зсувами, $\varphi_3\varphi_3$ напруг $u_C(t)u_C(t)$, щодо напруги $u_A(t)$.

Дискретність завдання фазових зсувів дорівнює $\Delta\alpha = 2\pi/n$. Так, для забезпечення дискретності $\Delta\alpha = 1^\circ$ необхідно мати $n = 360$.

Фазові зсуви $\varphi_3\varphi_3$, виражені через дискретність, задаються десятковими числами і $N_3 = \Delta\varphi_3/\Delta\alpha$ $N_3 = \Delta\varphi_3/\Delta\alpha$, які встановлюються перемикачами БУ. Потім перетворювачами код-код фазові зсуви перетворюються в двійкові коди, а отримані сигнали двійкового коду чисел i N_3N_3 подаються на кодові (установчі) входи РЛ2 і РЛ3 відповідно. Фазові зсуви $\varphi_3\varphi_3$ сигналів $u_C(t)u_C(t)$ задаються в межах $\pm 180^\circ$ щодо нульового значення фази сигналу $u_A(t)$. Тому РЛ3 не містить шини завдання фазового зсуву φ_1 сигналу $u_A(t)$, а в момент введення кодів, $\varphi_3\varphi_3$ обнуляється. Залежно від діапазону в якому знаходяться необхідні значення фазових зсувів $\varphi_3\varphi_3$, необхідно встановлювати відповідні вихідні режими РЛ2, РЛ3 і ЦАП2, ЦАП3, що наведені в табл. 1. Ці режими задаються перемикачами в БУ3 відповідні їм сигнали подаються з виходів БУ на другі входи БР2 і БР3.

В результаті на виходах цифрового генератора, а отже, військового еталону фазових зсувів, буде сформована система трифазних синусоїдальних напруг, $u_B(t)u_B(t)$, $u_C(t)u_C(t)$ певної частоти і з заданими амплітудами і фазами.

Таблиця 1 – Залежність діапазону фазових зсувів

Діапазон фазових зсувів	Від 0° до $+90^\circ$	Від $+90^\circ$ до $+180^\circ$	Від 0° до -90°	Від -90° до -180°
Режим РЛ2 і РЛ3	Підсумування	Віднімання	Віднімання	Підсумування
Полярність ЦАП2 і ЦАП3	+	+	-	-

Аналогічно формуються трифазні системи періодичних напруг будь-якої іншої форми. Відмінність полягає тільки в кодах миттєвих значень цих напруг, що записуються попередньо в ПЗПр.

Висновки

Використання запропонованого принципу побудови еталону забезпечує такі техніко-економічні переваги:

- розширення функціональних можливостей за рахунок забезпечення можливості регулювання фазових зсувів трифазної системи напруг в межах $\pm 180^\circ$;
- зменшення постійних складових похибок

вихідного сигналу еталона, що забезпечується високою точністю компенсації інструментальних похибок ЦАП за двополярного їх виконання;

– розширення діапазону регулювання амплітуд вихідних напруг, оскільки в запропонованому еталоні він не пов'язаний з динамічним діапазоном ЦАП;

– підвищення точності і стабільності завдання параметрів формованих сигналів.

Таким чином, результати дослідження дозволяють створювати відомчі еталони (вихідний та робочий) трифазної системи періодичних сигналів з регульованими параметрами цих сигналів і більш високими метрологічними характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мошаренков В.В. Совершенствование военных эталонов фазовых сдвигов Вооруженных Сил Украины / В.В. Мошаренков // Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1 (37), С. 62-64.
2. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Дрофа, 2005. – 415с.
3. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 384с.
4. Афонский А.А. Функциональные генераторы и генераторы сигналов специальной формы АТАКОМ / А. А. Афонский // Контрольно-измерительные приборы и системы. – 2011. – № 3, С. 15-22.
5. Дубровин В.С. Способы построения управляемых функциональных генераторов / В.С. Дубровин, А.М. Зюзин // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2014. – №7, - С. 131-137.
6. Чинков В. М. Дослідження методу східчастої апроксимації синусоїдних сигналів з рівномірним розташуванням вузлів апроксимації у часі / В.М. Чинков, С.В. Мірошниченко // Системи обробки інформації. – 2004. – № 2(30). – С. 101-104.
7. Чинков В. М. Методика оцінки похибки цифроаналогового синтезу вимірювальних синусоїдних сигналів на основі кусково-східчастої апроксимації / В.М. Чинков, Т.Я. Наливайська // Системи обробки інформації. – 2010. – № 5(86). – С. 146-148.
8. Герасимов С.В., Дакі О.А., Яковлев М.Ю. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2018. – №79 (2). – С. 73-76. – DOI: 10.23939/istmtm2018/02/073.
9. Чинков В. Н. Прецизионные методы и калибраторы воспроизведения коэффициентов несимметрии трехфазной системы синусоидальных напряжений / В. Н. Чинков, В.В. Мошаренков // Український метрологічний журнал. – 2013. – № 3, С. 18-23.
10. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с
11. Функциональный цифроаналоговый преобразователь в широкополосном цифрууправляемом калибраторе фазы / Сапельников В М, Хакимов Р. А, Коловертнов Г Ю, Шабанов М. А., Газизов А А // Приборы и техника эксперимента. – 2005 – № 4. – С. 43 – 46
12. Функциональные цифро-аналоговые преобразователи и их применение / Газизов А А., Сапельников В М // Физика волновых процессов и радиотехн-е системы – 2007. – № 3, том 10 – С. 109 – 118
13. Сапельников В.М., Максудов А.Д. Двухканальный калибратор фазы со ступенчатой аппроксимацией и коррекцией погрешностей // Приборы и системы управления. - 1997. - №4. С. 32-34
14. ДСТУ 7365-13. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання одиниці кута зсуву фаз між двома напругами: [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2013. – 7 с. – (Державний стандарт України).

Received (Надійшла) 12.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.01.2021

Principle of construction of departmental standards three-phase voltage

V. Mosharenkov

Abstract. The role of sinusoidal signal generators in metrological maintenance of measuring equipment is constantly growing, while the requirements for the characteristics of their output signals are increasing. Classical analogue methods for generating sinusoidal signals have almost exhausted the possibilities of further accuracy growth, increasing the level of automation. The elimination or reduction of these disadvantages is possible when using a fundamentally new direction in the field of signal generation. To a large extent, these requirements are met by digital-to-analog synthesis of sinusoidal signals based on the formation of piecewise-step signals approximating a sinusoidal signal. Thus, the principle of building departmental standards of three-phase periodic signals with adjustable parameters of the generated signals with higher metrological characteristics based on their digital-to-analog synthesis using the piecewise step approximation method is proposed. Such methods are associated with a new direction in signal theory - digital-to-analog synthesis based on one of the types of piecewise step approximation. The research results allow us to create departmental standards (initial and working) of a three-phase system of periodic signals with higher metrological characteristics at a qualitatively new level. This task is particularly relevant in solving the problem of improving metrological support in the direction of performing metrological work.

Keywords: departmental standard of phase shifts, piecewise step signal, digital-to-analog converter, three-phase generator of periodic signals, metrological characteristics.

В. І. Носков, М. В. Мезенцев, С. Ю. Гавриленко, Г. В. Гейко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА СТАНУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Анотація. **Мета статті.** При розробці систем тягового електропривода вітчизняного дизель-поїзда ДЕЛ-02 з тяговими асинхронними двигунами ставиться завдання забезпечення ефективного контролю та діагностики стану дизель-поїзда і його елементів у процесі експлуатації з використанням сучасних інформаційних технологій. Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі питання: визначення основних вузлів і параметрів, які підлягають контролю та діагностиці; побудова структурної схеми системи контролю та діагностики; розробка методів контролю та діагностики стану дизель-поїзда та його елементів. **Результати.** Для підвищення ефективності експлуатації дизель-поїздів ДЕЛ-02 вітчизняного виробництва розроблена система контролю та діагностики стану тягового електропривода з використанням сучасних засобів виміру основних параметрів і подальшою обробкою отриманої інформації бортовою мікропроцесорною системою керування. Запропоновані та обґрунтовані рішення щодо побудови системи, яка забезпечує контроль необхідної кількості технічних і економічних показників тягового електропривода без введення в схему системи керування додаткових елементів. Контроль і діагностика показників стану тягового електропривода виконана за допомогою нейронної мережі.

Ключові слова: тяговий електропривід, система контролю та діагностики, мікропроцесорна система керування, нейронна мережа.

Вступ

Підвищення ефективності перевезень залізничним транспортом вимагає впровадження сучасних тягових електроприводів та систем керування, які виконані на основі засобів мікропроцесорної техніки, мікроконтролерів і мікроЕОМ. Однак, якість і надійність роботи локомотива будуть недостатніми, якщо в структурі системи керування (СК) не передбачено контроль і діагностику стану тягового електропривода (ТЕП) і його елементів.

Система контролю та діагностики (СКД) повинна бути невід'ємною частиною СК і, по можливості, повинна використовувати наявні в схемі устаткування (датчики, регулятори та ін.) з мінімальною кількістю додаткових технічних засобів. СКД повинна здійснювати постійний автоматичний контроль роботи ТЕП і його СК, видавати необхідну оперативну інформацію машиністові та надавати допомогу фахівцям депо в обслуговуванні устаткування.

Аналіз літератури. Контроль і діагностика стану рухомого складу є актуальною проблемою, про що свідчать публікації по даному питанню. Як видно з літературних джерел, СКД можна підрозділити на:

1) бортові – входять до складу систем керування ТЕП, забезпечують постійний контроль технічного стану його устаткування та видають машиністові необхідну інформацію на екран. СКД реєструє та зберігає контрольовані параметри для їх обробки в депо [1-3]. У ряді випадків ця інформація дистанційно передається на станції (у депо);

2) стаціонарні – визначають технічний стан локомотива та його елементів (систем) в умовах депо як за результатами, отриманими у поїздах, так і за результатами стендових випробувань;

3) автоматизовані з дистанційним контролем окремих вузлів локомотива при його русі по перегону. Ці СКД розташовуються, як правило, у районі стрілочних переводів, а контролю піддаються елементи ходової частини локомотива: букси, колісні пари та ін. [4-6].

СКД у загальному випадку здійснює: безперервний контроль забезпечення СК необхідних тягових і гальмових характеристик; безперервний контроль і діагностику стану системи та її елементів; попередження про виникнення граничних і неприпустимих режимів роботи устаткування; надання інформаційної допомоги машиністові по якості роботи ТЕП; реєстрацію та зберігання інформації про контрольовані параметри в процесі експлуатації, яка використовується службою ремонту та обслуговування в депо. У ряді випадків, при необхідності, ця інформація передається різними способами зв'язку на станцію.

У цій статті розглядаються питання створення бортової СКД. Сучасні локомотиви оснащуються бортовими мікропроцесорними системами (МПС) керування ТЕП і допоміжним устаткуванням. Крім того, вони мають датчики параметрів основних вузлів і агрегатів, використання інформації з яких відкриває можливість реалізації в структурі СКД додаткового функціонала, пов'язаного з питаннями контролю та діагностики стану локомотива.

Мета статті. При розробці систем ТЕП вітчизняного дизель-поїзда ДЕЛ-02 з тяговими асинхронними двигунами (ТАД) ставилося завдання забезпечення ефективного контролю та діагностики стану дизель-поїзда і його елементів у процесі експлуатації з використанням сучасних інформаційних технологій. Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі питання:

- визначення основних вузлів і параметрів, які підлягають контролю та діагностиці;
- побудова структурної схеми СКД;
- розробка методів контролю та діагностики стану дизель-поїзда та його елементів.

Результати досліджень

Рішення поставлених завдань, у першу чергу, пов'язане із застосуванням конкретного ТЕП і його СК. Структурна схема СК моторного вагона дизель-поїзда ДЕЛ-02 наведена на рис. 1.

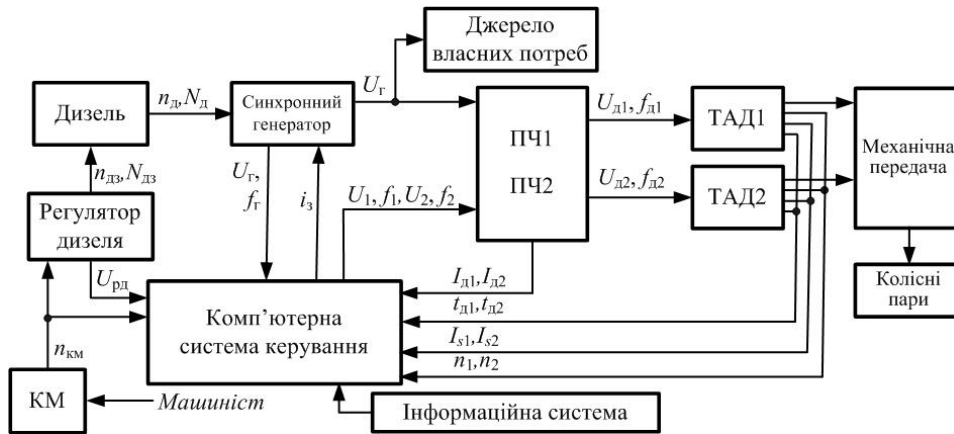


Рис. 1. Структурна схема СК моторного вагона дизель-поїзда ДЕЛ-02

На рис. 1 використані такі позначення: КМ – контролер машиніста; $n_{км}$ – номер позиції контролера машиніста; $n_{дз}, N_{дз}$ – сигнали завдання частоти обертання та потужності дизеля; $n_{д}, N_{д}$ – вихідні частота обертання та потужність дизеля; $U_{рл}$ – коригуючий сигнал потужності дизеля; $U_{г}, f_{г}$ – напруга і частота генератора; $i_{з}$ – струм збудження генератора; U_1, U_2, f_1, f_2 – завдання параметрів перетворювачів частоти; $f_{д1}, f_{д2}, U_{д1}, U_{д2}$ – частоти та напруги живлення ТАД1 і ТАД2; $I_{д1}, I_{д2}$ – значення активного струму ТАД1 і ТАД2; $t_{д1}, t_{д2}$ – температура ТАД1 і ТАД2; n_1, n_2 – частоти обертання роторів ТАД1 і ТАД2; I_{s1}, I_{s2} – значення повного струму ТАД1 і ТАД2.

Силова частина схеми включає дизель, що приводить в обертання тяговий синхронний генератор, який через перетворювачі частоти (ПЧ1, ПЧ2) живить ТАД1 і ТАД2.

Як видно з рис. 1, система містить значне число регульованих та контрольованих параметрів, які характеризують роботу складових ТЕП (дизель-генератора), перетворювачів частоти, тягових асинхронних двигунів, допоміжних навантажень, механічної частини приводу та безпосередньо СК. З огляду на обсяг контрольованих параметрів та їх різний фізичний зміст і форму сигналів, СК виконана децентралізованою. Зовнішній вигляд МПС показано на рис. 2.

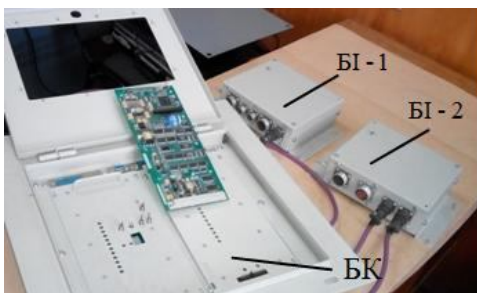


Рис. 2. Зовнішній вигляд МПС

Прийом сигналів зворотного зв'язку від датчиків, їх обробка й нормалізація виконуються інфор-

маційними блоками БІ-1 та БІ-2. Оброблені сигнали зворотного зв'язку надходять у блок керування БК по цифровому каналу зв'язку CAN2. Вибір протоколу CAN2 обґрунтований його високою перешкодозахисністю, досить простою реалізацією та високою надійністю роботи в умовах бортових транспортних мереж СКД [7].

При обробці сигналів зворотного зв'язку використано метод розкладання в ряд Фур'є при визначенні першої гармонійної струму фази ТАД, метод «ковзного вікна» при обчисленні частоти обертання ротора ТАД та ін. [8, 9]. Мікропроцесорна СК дизель-поїзда передає оперативну інформацію про роботу ТЕ і його елементів на екран машиніста та забезпечує підключення переносного бортового процесорного модуля (інформаційна система), що реєструє та відображає поточні значення основних змінних ЕП у всіх режимах функціонування дизель-поїзду і прогнозує його стан з раннього виявлення відхилень динамічних характеристик (розладнань та інцидентів) окремих агрегатів, вузлів та СК ТЕ. Проблема раннього виявлення зміни динамічних характеристик складових СК дизель-поїзда та тісно пов'язана з нею проблема їх діагностики була вирішена на основі нейронних мереж, що прогнозують динаміку об'єктів [10]. В розглянутому випадку контрольований об'єкт описується як лінійний стохастичний об'єкт рівнянням виду:

$$q(t_k) = b_1 q(t_{k-1}) + b_2 q(t_{k-2}) + \dots + b_n q(t_{k-n}) + b_{n+1} u(t_{k-1}) + b_{n+2} u(t_{k-2}) + \dots + b_{n+q} u(t_{k-q}) + \delta(t_k) = B^T r(t_k) + \delta(t_k), \quad (1)$$

де $q(t_k)$ і $u(t_k)$ – відповідно вихідна змінна та керування об'єктом в момент часу $t = t_k$; $B^T = (b_1, \dots, b_n, \dots, b_{n+q})^T$ – вектор у загальному випадку невідомих параметрів; $\delta(t_k)$ – збурювання типу білий шум; $r(t_k) = (q(t_{k-1}), q(t_{k-2}), \dots, u(t_{k-q}))$ – вектор узагальнених входів в момент часу t_k .

Було розглянуто один з можливих підходів до виявлення зміни динамічних характеристик об'єкта (1) за інформацією, яка міститься в послідовності значень його вихідного сигналу

$$q(t_1), q(t_2), \dots, q(t_k), \dots \quad (2)$$

Нехай послідовність (2) подається на вхід нейронної мережі, яка зображена на рис. 3 та має три шари нейронів з лінійними функціями активації:

$$A_1^1, A_2^1, \dots, A_d^1, A_1^2, A_2^2, \dots, A_d^2, A_1^3, A_2^3, \dots, A_d^3.$$

Будь-який сигнал $q(t_k)$, $k \in \mathbb{N}$, вхідної послідовності (2) надходить на ланцюжок послідовно з'єднаних елементів одиничних затримок, на виході яких формується набір затриманих за часом сигналів:

$$q(t_{k-1}), q(t_{k-2}), \dots, q(t_{k-d}).$$

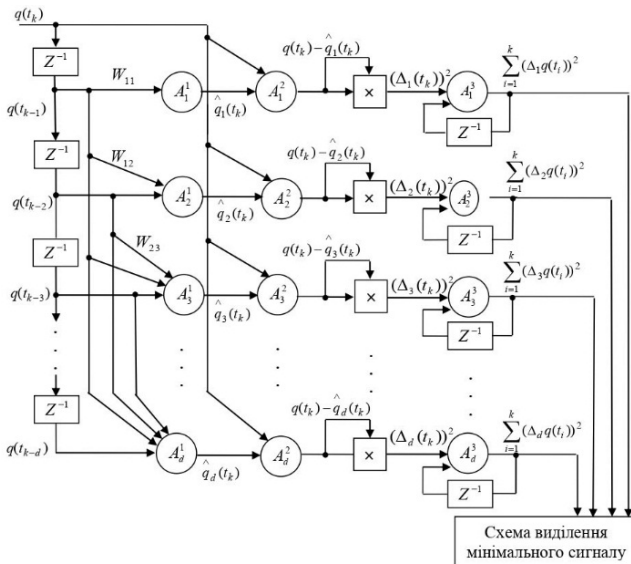


Рис. 3. Контролююча нейронна мережа із прямою передачею сигналів для лінійних стохастичних об'єктів

За допомогою нейронів $A_1^1, A_2^1, \dots, A_d^1$ першого шару мережі шляхом зваженого підсумовування сигналів $q(t_{k-1}), q(t_{k-2}), \dots, q(t_{k-d})$ здійснюється лінійна апроксимація вимірюваної послідовності, і отримуються оцінки ряду (2) за допомогою співвідношень виду:

$$\begin{aligned} U_{вих A_1^1} &= \hat{q}_1(t_k) = W_{11}(t_k) q(t_{k-1}), \\ U_{вих A_2^1} &= \hat{q}_2(t_k) = W_{12}(t_k) q(t_{k-1}) + W_{22}(t_k) q(t_{k-2}), \\ &\dots \end{aligned} \quad (3)$$

$$U_{вих A_d^1} = \hat{q}_d(t_k) = \sum_{i=1}^d W_{id} q(t_{k-i}),$$

де W_{ip} ($i = \overline{1, p}, p = \overline{1, d}$) – вага зв'язку між i -м елементом одиничної затримки та нейроном A_p^1 .

Адаптація ваг зв'язків нейронів була виконана градієнтними алгоритмами за допомогою різновиду алгоритму Уїдрову-Хофа [11]:

$$W_{ip}(t_{k+1}) = W_{ip}(t_k) + \alpha \eta_p(t_k) (q(t_k) - \hat{q}_p(t_k)) q(t_{k-i}),$$

$$\eta_p(t_k) = \left(\sum_{i=1}^p q^2(t_{k-i}) \right)^{-1} = (\eta_{p-1}^{-1}(t_k) - q^2(t_{k-p}))^{-1},$$

$$\eta_0^{-1} = 0; 0 < \alpha < 2; i = \overline{1, p}, p = \overline{1, d}.$$

Співвідношення (3) є d -різницевиими моделями для прогнозування значень ряду (2). Для кожної моделі (3) при кожному значенні дискретного часу t за допомогою нейронів $A_1^2, A_2^2, \dots, A_d^2$ з лінійними функціями активації обчислюється різниця між дійсним значенням $q(t_k)$ вихідного вимірюваного сигналу та прогнозованим $\hat{q}_i(t_k)$:

$$\Delta_i(t_k) = q(t_k) - \hat{q}_i(t_k), i = \overline{1, d}, k = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Різниці (4) за допомогою нейронів третього шару $A_1^3, A_2^3, \dots, A_d^3$, кожний з яких має на одному із входів блок множення, а в ланцюзі зворотного зв'язку блок з одиничною затримкою сигналу, використовуються для підрахунку суми квадратів евклідових відстаней між вхідними сигналами й прогнозованими:

$$\Sigma_i(t_k) = \sum_{j=1}^k (q(t_j) - \hat{q}_i(t_j))^2 = \sum_{j=1}^k (\Delta_i q(t_j))^2, i = \overline{1, d}. \quad (5)$$

Краща з моделей (3) має мінімальну суму (5) і може бути використана для опису вимірюваної вихідної послідовності (2), що дає змогу виявляти розладнання в роботі об'єкта, а також виконувати діагностику динамічних параметрів.

Розглянута нейронна мережа була використана також для контролю потужності дизель-генератора, яка віддається на тягу.

На рис. 4 наведені залежності потужності генератора від оборотів дизеля.

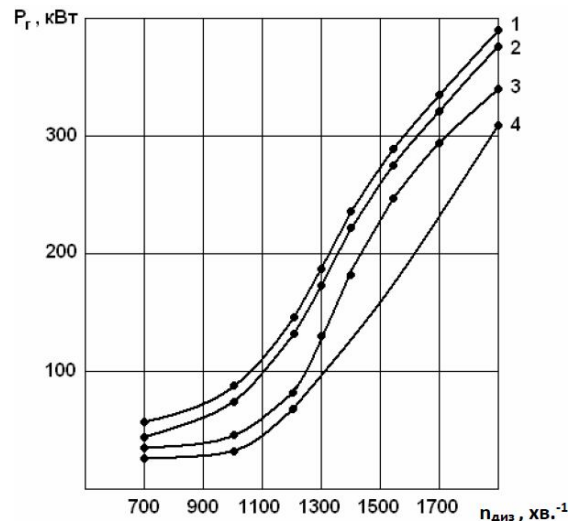


Рис. 4. Залежності потужності генератора від оборотів дизеля (1 – потужність генератора при виключених допоміжних навантаженнях; 2 – тягова потужність генератора при включених допоміжних навантаженнях; 3 – тягова потужність генератора при включених допоміжних навантаженнях і опаленні; 4 – селективна характеристика)

Потужність, що віддається дизель-генератором на тягу, визначається потужністю, яку розвиває дизель на конкретній позиції контролера машиніста (на конкретних оборотах дизеля), селективною характеристикою й потужністю включених допоміж-

них навантажень і опалення. Селективна характеристика показує ту мінімальну потужність, яка відповідає конкретним оборотам дизеля (або позиції контролера машиніста). Чим менше відстань між зовнішньою та селективною характеристикою, тим більше підстав для припущень про несправності або неоптимальну роботу дизеля, оскільки він не розвиває потрібної потужності.

Коли зовнішня характеристика дизель-генератора буде дорівнювати селективній характеристиці, дизель-поїзд знімається з експлуатації. Такі випадки були зафіксовані на дизель-поїзді ДЕЛ-02 на Одеській залізниці, коли були забруднені паливні фільтри «тонкого» та «грубого» очищення. За допомогою контролюючої системи, розробленої на основі розглянутої нейронної мережі, недолік потужності дизеля був вчасно виявлений і усунутий з мінімальними часовими втратами для експлуатації дизель-поїзда.

Висновки

Приведено аналіз різних СКД, які дозволяють підвищити надійність експлуатації рухомого складу та забезпечити його ефективну роботу. При створенні вітчизняних дизель-поїздів ДЕЛ-02 питання контролю та діагностики вирішувалися з урахуванням безлічі факторів, обумовлених використанням високоєфективного асинхронного ТЕП і мікропроцесорної СК. СКД є складовою частиною мікропроцесорної СК і не вимагає наявності в схемі додаткових пристроїв. Також було визначено перелік контрольованих параметрів, виконано аналіз обсягу цих параметрів і характер їх зміни. Застосовано для контролю нейронну мережу із прямою передачею сигналів. Результати експлуатації дизель-поїздів серії ДЕЛ-02 на Одеській залізниці підтвердили ефективність функціонування розробленої СКД.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Є. Б. Основні вимоги та принципи створення бортових систем діагностування локомотивів / Є. Б. Боднар. – Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2014. – № 1 (49). – С. 68-74.
2. Мельников В. Диагностирование тепловозов по данным бортовых микропроцессорных систем / В. Мельников // Мир транспорта. – 2014. – № 03. – С. 56-62.
3. Бабков Ю. Многофункциональная микропроцессорная система управления тепловозом / Ю. Бабков и др. – Железнодорожный транспорт. 2004. – СТА, № 3. – С. 46-52.
4. Пляскин А.К. Оперативный мониторинг подвижного состава и объектов инфраструктуры железной дороги / А.К. Пляскин, М.Ю. Кейно // Транспорт российской федерации. – 2011. – № 3 (34). – С. 55-57.
5. Noboru Niura. Overview of the ATACS radio train control system / Noboru Niura // JR EAST Technical Review. – 2013. – No. 25. P. 15-18.
6. Гундаев И. Система управления движением локомотивом с использованием ГЛОНАСС/GPS / И. Гундаев, А. Батраков // Современные технологии автоматизации. – 2012. – № 3. – С. 40-43.
7. Нургулжанова А. Н. Анализ систем диагностики технического состояния локомотивов и вагонов при движении железнодорожных составов / А. Н. Нургулжанова, Э. А. Багыбаева // Мат. XLI межд. НПК КазАТК им. М. Тынышпаева: «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика». – Т. 2. – 2017. – С. 169-171.
8. Носков В. И. Обработка сигналов в бортовой системе управления дизель-поезда ДЭЛ-02 / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, В. И. Панченко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 20-23.
9. Носков В. И. Метод определения гармонического состава фазного тока статора асинхронного двигателя в системах регулируемых приводов / В. И. Носков, Н. В. Мезенцев, Г. В. Гейко, М. В. Липчанский // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Харків: ХУПС імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 7 (132). – С. 59-61.
10. Дмитриенко В. Д. Адаптивный контроль отклонений в системах управления локомотивов с помощью нейронных сетей / В. Д. Дмитриенко, Н. И. Заполовский, В. И. Носков, М. В. Липчанский, Р. Д. Расрас // Проблемы информатики і моделювання: друга наук.-техн. конф. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – С. 14.
11. Бодянский С. В. Адаптивне виявлення розглядань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж / С. В. Бодянский, О. І. Михальов, І. П. Плісею – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с.

Received (Надійшла) 12.11.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.02.2021

Control and diagnosis of the condition the traction electric drive

Valentin Noskov, Mykola Mezentsev, Svitlana Gavrylenko, Hennadii Heiko

Abstract. The purpose of the article. During the development of traction electric drive systems of domestic diesel train DEL-02 with traction asynchronous motors the task is to ensure effective control and diagnostics of the diesel train and its elements during operation using modern information technologies. To achieve this goal it was necessary to address the following issues: the definition of the main components and parameters that are subject to control and diagnosis; construction of the structural scheme of the control and diagnostic system; development of methods of control and diagnostics of the state of the diesel train and its elements. **Results.** To improve the efficiency of operation of diesel trains DEL-02 of domestic production, the system of control and diagnostics of the state of the traction electric drive using modern means of measuring basic parameters was developed. Further processing of the information received is performed by an onboard microprocessor control system. The solutions for the construction of the system that provides control of the required number of technical and economic indicators of traction electric drive without the introduction of additional elements in the scheme of the control system were proposed and substantiated. Control and diagnosis of indicators of the state of traction electric drive was performed by using a neural network.

Keywords: traction electric drive, control and diagnostic system, microprocessor control system, neural network.

С. В. Шпак¹, Г. М. Кожушко², С. Г. Кислиця², С. Багіров³¹ Державне підприємство «Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації, метрології та сертифікації», Полтава, Україна² Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна³ Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан

ДИСКОМФОРТНА ТА ЗАСЛІПЮВАЛЬНА БЛИСКАВІСТЬ СВІТЛОДІОДНИХ ЛАМП ТА СВІТИЛЬНИКІВ

Анотація. В роботі аналізуються результати крайніх досліджень та рекомендації міжнародної комісії з освітлення (СІЕ) стосовно оцінювання дискомфоротної блискавості. Наголошується, що використання узагальненого показника дискомфорту (UGR) є неефективним для оцінювання світлодіодних світильників з нерівномірним розподілом яскравості і потребує уточнення. Аналізуються тимчасові зміни введені СІЕ в методику визначення скоригованого узагальненого показника дискомфорту UGR' . Метою роботи було дослідження розподілу яскравості в типових світильниках для загального внутрішнього освітлення та оцінювання їх дискомфоротної блискавості з використанням крайніх рекомендацій СІЕ, а також оцінювання засліплюваної блискавості та якості освітлення на основі кривих граничних яскравостей. Показано, що збільшення узагальненого показника дискомфорту UGR' для світильників з неоднорідною яскравістю може досягати 10 і більше одиниць в порівнянні зі світильниками з рівномірним розподілом яскравості. Порівнюючи результати вимірювання яскравостей світильників різних конструкцій з граничними їх значеннями, встановленими міжнародними стандартами, оцінювали можливі ступені засліплювання та якості освітлення, що можуть утворюватися цими світлодіодними світильниками. На основі отриманих результатів зроблені висновки та рекомендації щодо вдосконалення оцінювання дискомфоротної блискавості світлодіодних освітлювальних установок з нерівномірним розподілом яскравості та пропозиції по інформуванню споживачів про розподіл яскравості та коригувальний коефіцієнт, що враховує ефективну яскравість та ефективну площу випромінювання світильників.

Ключові слова: якість освітлення, засліплювальна блискавість, дискомфортна блискавість, узагальнений показник дискомфорту, ефективна яскравість, ефективна площа випромінювання, граничні криві яскравості.

Вступ

Постановка проблеми. Блискавість – це властивість світлодіодних приладів або відбиваючих поверхонь в їх здатності порушувати умови комфортно-го зору або погіршувати контрастну чутливість [1]. Вона виникає в випадках, коли яскравість світильників значно перевищує яскравість поверхонь інтер'єру (пряма блискавість) або коли такі джерела світла відбиваються від поверхонь. Блискавість може проявлятися однією із наступних 2-х форм, що діють окремо або сприймаються разом: дискомфортна блискавість, яка створює дискомфорт без обов'язкового погіршення видимості об'єктів засліплююча блискавість, що порушує видимість об'єктів, але не обов'язково викликає відчуття дискомфорту.

Засліплююча блискавість виникає в тому випадку, коли мале за розміром джерело високої яскравості знаходиться близько до лінії зору.

Дискомфортна блискавість створює відчуття незручності, яке з часом збільшується і викликає втомлюваність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьгодні для оцінювання дискомфоротної блискавості джерел світла в основному застосовують запропонований в [2] узагальнений показник дискомфорту (Unified Glare Rating, UGR), але як показали чисельні дослідження він є неефективним для оцінювання світильників з нерівномірною яскравістю (якими є багато конструкцій з СД) і потребує уточнення [3, 4]. СІЕ в [5] ввів тимчасові зміни в методику визначення UGR , які будуть діяти до того часу, поки не будуть отримані практичні результати застосування

фундаментального підходу, що базується на фізіологічному і психологічному механізмах.

Рівні яскравості сучасних світлодіодів можуть бути надзвичайно високими (перевищувати 10^7 кд/м²). Навіть малопотужні світлодіоди створюють блискавість, яка може спричинити дискомфорт (дискомфортна блискавість) або тимчасове зменшення гостроти зору (засліплююча блискавість). Хоч блискавість є тимчасовим явищем і не призводить до ушкодження очей, вона є джерелом прямої небезпеки – може спричинити нещасні випадки через засліплення.

На якість освітлення з використанням світлодіодних освітлювальних установок дуже суттєво впливає саме їх висока яскравість, тому актуальною задачею даної роботи є дослідження дискомфоротної та засліплювальної блискавості цих установок з використанням сучасних рекомендацій міжнародної комісії з освітлення (СІЕ).

Вміння прогнозувати ступінь дискомфорту від блискавості джерел світла є корисним для кінцевих користувачів, оскільки можна буде його запобігати. Виробники зможуть розробляти вироби та класифікувати придатність своєї продукції для різних застосувань. Узагальнений показник дискомфорту UGR визначається відношенням яскравості джерел світла та яскравості фону [2]:

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0.25}{L_B} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2} \right), \quad (1)$$

де L_B – яскравість фону, що залежить від E – вертикальної освітленості, спрямована в око спостерігача, кд/м²; L_i – яскравість i -го світильника, спрямована в

око спостерігача, кд/м^2 ; ω_{ii} – тілесний кут випромінюючої частини i -го світильника в напрямку ока спостерігача, рад; N – кількість світильників в освітлювальній установці; p_i – індекс Гатта для кожного окремого світильника, який залежить від напрямку лінії зору.

Індекс позиції p_i визначається в залежності від відносних координат положення центра світильника $\frac{x_T}{y_R}, \frac{H}{y_R}$ в системі координат відносно спостерігача (рис. 1).

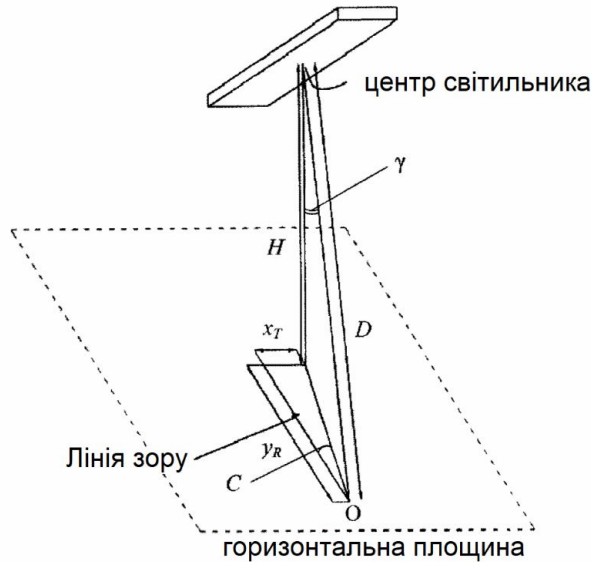


Рис. 1. Положення центру світильника відносно спостерігача

В [6] запропоновано методики розрахунків UGR за значеннями сили світла світильників з використанням виразу:

$$UGR = 8 \lg \left(\sum_{i=1}^N \left(\frac{\pi}{4E} \cdot \frac{I_{cvi}^2}{A_i \cdot D_i^2 \cdot p_i^2} \right) \right), \quad (2)$$

де I_{cvi} – сила світла i -го світильника в напрямку спостерігача; $C = \arctg(x_T/y_R)$ – азимутальний кут; $\gamma = \arctg(H/y_R)$ – меридіальний кут, A – площа проєкції випромінюваної поверхні світильника на площу перпендикулярну лінії зору.

Значення сил світла від кута спостереження вимірюються з використанням гоніофотометра.

Рекомендовані граничні значення UGR – утворюють ряд: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28. Кроки показують рівень зміни блискавості й характеризуються як: < 10 – непомітний; < 13 – малопомітний; < 16 – помітний; < 19 – прийнятний; > 22 – неприйнятний; > 25 – відчутний; > 28 – значний дискомфорт.

Цей метод базується на британській системі індексів дискомфортної блискавості. UGR можна визначити з використанням комплексних таблиць згідно з [6]. Проте такий метод не може застосовуватись для джерел світла з малими розмірами. Для світильників з багатьма точковими джерелами світла не можна застосовувати усереднене значення яскравості від цих джерел за всією площею світильника, так як

такий підхід значно знижує показник і не відображає фізіологічного відчуття блискавості [4].

Відчуття дискомфорту підвищується при збільшенні яскравості джерела, зменшенні тілесних кутів, що ним створюється та числа джерел світла в полі зору і зменшується при підвищенні яскравості фону та збільшенні кута між лінією зору та напрямком від джерела світла до ока.

Оцінювання дискомфортної блискавості з використанням узагальненого показника UGR були розроблені для світильників з розрядними лампами в яких розподіл яскравості суттєво відрізняється від світильників зі світлодіодами. СІЕ в [5] для оцінювання світлодіодних світильників запропонував в формулу (1) ввести коригуючий коефіцієнт. Скоригований показник UGR' має визначатись як

$$UGR' = 8 \lg \left(\frac{0.25}{L_B} \sum_{i=1}^N K^2 \cdot \frac{L_s^2 \cdot \omega}{p_i^2} \right), \quad (3)$$

де $K^2 = \frac{L_{eff}^2}{L_s^2} \cdot \frac{\omega_{eff}}{\omega}$; L_{eff} – ефективна яскравість; ω_{eff} –

ефективний тілесний кут сумарної світлової площі з L_{eff} ; L_s – середня яскравість світильника; ω – тілесний кут в якому випромінюється світло всього світильника. Один із способів визначення ефективної яскравості L_{eff} є спосіб заснований на природі яскравостей. Для розрахунків L_{eff} береться яскравість в межах ефективної площі A_{eff} , що визначається кутом ω_{eff} . Відношення A_{eff}/A називається коефіцієнтом ефективної площі, який пропорційний ω_{eff}/ω .

У світильниках з неоднорідною яскравістю ефективна площа менша повної площі світильника A і ефективна яскравість буде значно вищою.

Метою даної роботи є дослідження розподілу яскравості в типових світлодіодних світильниках для загального освітлення та оцінювання їх потенційної дискомфортної блискавості при різних умовах застосування з використанням нових рекомендацій СІЕ [5], а також дослідження засліплювальної блискавості світлодіодних світильників на основі кривих граничних яскравостей та оцінення класів якості освітлення, що можуть забезпечити дані світильники.

Результати дослідження. Для оцінювання дискомфортної та засліплювальної блискавості досліджувались промислові зразки світлодіодних світильників для внутрішнього загального освітлення. Світильники мали розсіювачі як з дифузним світлопропусканням, так і з змішаним (частково дифузним та направленим). Окремі конструкції замість світлорозсіювачів мали захисний прозорий пластик. Світлодіоди в світильнику були змонтовані як рівномірно по площі, так і по периметру корпусу світильника.

У світильниках зі світлодіодами, що змонтовані по площі світильника неоднорідність яскравості в багатьох випадках спостерігається візуально. Світильники без світлорозсіювачів мають високу точкову яскравість на фоні низької яскравості інших частин світильника. Через світлорозсіювач, як правило, не проглядаються світлові плями підвищеної яскравості.

Визначення середньої яскравості світильника L_S (габаритної яскравості) проводили шляхом вимірювання сили світла в напрямку спостерігача та площі світильника A . Силу світла вимірювали з використанням гоніофотометра GO 2000. Одночасно вимірювали криві сили світла (КСС) та величину світлового потоку. Похибки вимірювання цих фотометричних величин не перевищували $\pm 3\%$.

Яскравість розраховували за формулою:

$$L = I/A, \quad (4)$$

де L – габаритна яскравість, кд/м²; I – сила світла, кд; A – площа світильника, що випромінює світло.

Коефіцієнт площі визначали методом, що базується на граничній яскравості. Граничну яскравість і яскравість L_{eff} вимірювали за допомогою комплексу випробувального обладнання OST 300 спектрорадіометрична система якого містить монохроматор, фотометричний детектор, систему вимірювання розмірів джерел світла, яка імітує око людини в полі зору 100, 11 та 1,7 мрад, діафрагми для обмеження поля зору та еталонні джерела світла. Точність вимірювання освітленості та яскравості $\pm 5\%$.

Ступінь впливу яскравості L_{eff} та коефіцієнту площі A_{eff}/A на величину UGR' досліджували за допомогою світильника, в якому змінювали світлорозсіювачі. Використовували в якості світлорозсіювачів пластик з дифузним та направлено-дифузним пропусканням, а також прозоре захисне скло.

Таблиця 1 – Параметри світильника для внутрішнього освітлення без світлорозсіювача, з призматичним та дифузним світлорозсіювачами

Характеристика світильника	L_S кд/м ²	L_{eff} , кд/м ²	A_{eff}/A , відн.од.	K^2 , відн.од.	UGR	$UGR = UGR' + 8lgK^2$
- без світлорозсіювача	3430	$8,9 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	13	21	30
- з дифузним розсіювачем	1825	1825	1	0	17	17
- з призматичним розсіювачем	2070	$2,25 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	2,5	18	21

Як видно з отриманих результатів у світильника без світлорозсіювача значення UGR' перевищує UGR на 9 одиниць, а при застосуванні призматичного (направлено-дифузного) світлорозсіювача на 3 одиниці. Дослідження комерційних зразків світлодіодних світильників різної конструкції (з різним ступенем розсіювання світла) показали, що UGR' зна-

ходиться в інтервалі значень від 14 до 30. Збільшення показника UGR' може досягати 10 і більше одиниць, що є дуже суттєвим при оцінюванні рівня дискомфорту блисків.

Для розрахунку UGR' розглядали випадок для одного світильника. При цьому вираз (3) можна записати як

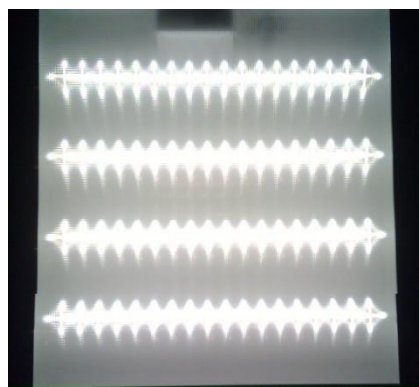
$$UGR' = UGR + 8lg \left(\frac{L_{\text{eff}}^2}{L_S^2} \cdot \frac{\omega_{\text{eff}}}{\omega} \right), \quad (5)$$

Для освітлювальних установок з кількома світильниками UGR' буде відрізнятися від цього параметра для одного світильника так як для кожного світильника будуть різні значення індексу положення Гатта p , які залежать від напрямку поля зору. На UGR' впливає кількість світильників в полі зору спостерігача. Але для визначення залежності загального показника дискомфорту від ефективної яскравості та коефіцієнта ефективної площі таке спрощення оправдане [7, 8].

В табл. 1 наведені результати вимірювання та розрахунку UGR' для світильника без світлорозсіювача, з призматичним та дифузним світлорозсіювачами. При розрахунках яскравість фону в приміщенні L_B брали рівним 170 кд/м².



а



б



в

Рис. 2. Загальний вигляд розподілу яскравості для світильника з дифузно-розсіюваним (а), дифузно-направленим (б) пропусканням світлорозсіювача та прозорим захисним склом

Так як коефіцієнт K не залежить від яскравості фону L_B , індексу положення Гатта і від ω , а залежить від відношення L_{eff}/L і ω_{eff}/ω , то його можна визначати не в польових умовах (приміщенні де змонтована освітлювальна установка), а в лабораторіях і надавати інформацію про значення коефіцієнта K для кожної конструкції світильника.

При визначенні UGR' в реальних умовах UGR необхідно буде збільшити на величину $8 \lg K^2$. Це значно спростить оцінювання UGR' , так як можна буде для визначення L_{eff}/L , L_S і ω_{eff}/ω використовувати стаціонарні прилади.

Рівень засліплювальної блискавості світильників для освітлення приміщень визначали на основі кривих граничних яскравостей в інтервалі критичних кутів від 45° до 85° відносно вертикалі (рис. 3).

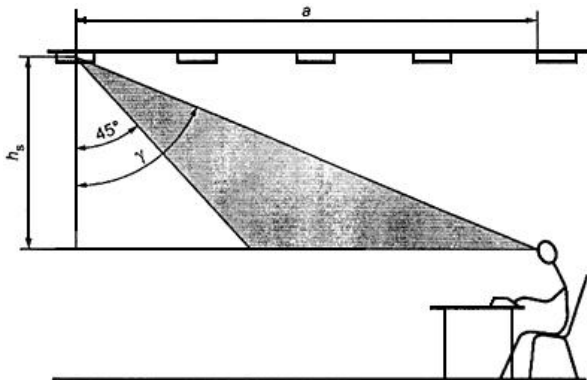


Рис. 3. Кут випромінювання світильника, в межах якого необхідно забезпечити обмеження яскравості

Обмеження достатнє, якщо середня яскравість світильника не перевищує значень кривих яскравості для відповідних критичних кутів γ , як показано на рис. 3 та 4 [1].

Таблиця 2 – Відповідність граничних кривих яскравості та ступені засліплювання для різних рівнів освітленості та класів їх якості

Ступінь засліпленості	Клас якості	Значення освітленості, лк							
		a	b	c	d	e	f	g	h
1,15	A	2000	1000	500	<300				
1,5	B		2000	1000	500	<300			
1,85	C			2000	1000	500	<300		
2,2	D				2000	1000	500	<300	
2,55	E					2000	1000	500	<300

Для оцінювання можливості виникнення засліплювальної блискавості, що створюють світлодіодні освітлювальні установки, досліджувались комерційні зразки світлодіодних світильників для внутрішнього освітлення, які мають широке застосування. Ступінь засліплюваності та класи якості освітлення, які можуть бути з використанням цих світильників, оцінювали вимірюючи їх максимальну яскравість за допомогою комплексу випробувального обладнання OST 300.

Використовуючи граничні криві яскравості (рис. 4) та таблицю відповідності граничних кривих яскравості та ступенів засліплювання для різних рівнів

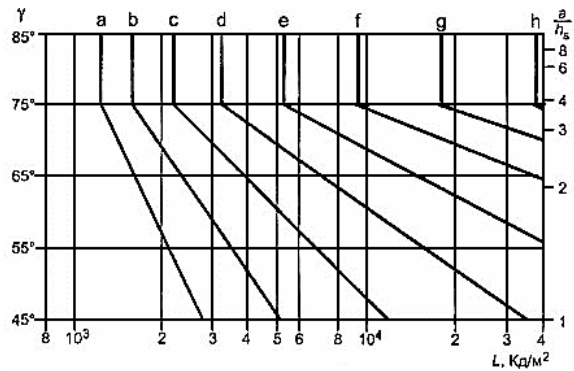


Рис. 4. Граничні криві яскравості (для світильників без випромінюючих бокових поверхонь)

Для різних зорових робіт в різних приміщеннях ступінь засліплюваності визначається вимогами до якості освітлення. Визначено 5 класів якості: клас А – дуже висока якість; В – висока якість; С – середня якість; D – низька якість і Е – дуже низька якість.

Ступені засліплюваності охоплюють головні характерні точки (0 – відсутність засліплення; 2 – незначне засліплення; 4 – значне засліплення; 6 – нестерпне засліплення). В табл. 2 наведена відповідність граничних кривих яскравості та ступені засліплювання для різних рівнів освітленості та класів їх якості [1]. Граничні криві яскравості можна застосувати при наступних умовах:

- розглядається тільки загальне освітлення;
- лінія зору направлена в основному горизонтально або вниз;
- коефіцієнт відбивання стелі не менше 0,5, а стін – не менше 0,2.

Так як світлодіодні світильники можуть мати значну неоднорідність яскравості (а ступінь засліплювальної блискавості визначається максимальною яскравістю в полі зору спостерігача) тому необхідно визначити габаритну яскравість.

освітленості і класів якості (табл. 2) визначали можливий ступінь засліплення та клас якості освітлення, що може забезпечувати даний світильник. Результати вимірювання і розрахунків наведено в табл. 3.

Як видно із отриманих результатів, для світлодіодних світильників загального освітлення, що постачаються на ринок України, можуть забезпечувати високий клас якості освітлення. Для інформування споживачів доцільно в документації на світильники (в тому числі в каталогах) вказувати максимальну яскравість. Це дасть змогу спростити вибір світильників для конкретних сфер застосування.

Таблиця 3 – Результати оцінювання світлодіодних світильників за ступенем засліплювальної блискавості та якості освітлення при їх використанні

Максимальна яскравість, кд/м ²	Ступінь засліплення	Клас якості освітлення згідно з ISO 8995
2314	Відсутній	A, B
4190	Відсутній	B, C
13230	Незначний	C, D
33380	Незначний	D, E
59250	Значний	E

Для оцінювання засліпленої блискавості та якості освітлення з використанням методу граничних яскравостей доцільно застосовувати метод картографування з використанням цифрових камер.

Висновки

1 Скоригований узагальнений показник дискомфорту UGR' для світлодіодних світильників з нерівномірною яскравістю може суттєво відрізня-

тись від стандартного UGR розрахованого традиційним методом. Для високої ефективної яскравості та малої ефективної площі випромінювання різниця між UGR' і UGR може становити 10 і більше одиниць.

2 Так як коригуючий коефіцієнт K^2 не залежить від яскравості фону та індексу положення Гатта, вимірювання габаритної і ефективної яскравості та коефіцієнта випромінюючої площі можна проводити в лабораторних умовах.

3 Для визначення UGR' світлодіодної освітлювальної установки в «польових» умовах достатньо буде виміряти яскравість фону та індекс положення Гатта і провести розрахунок UGR традиційним методом, збільшуючи цей показник на $8 \cdot \lg K^2$.

4 Для спрощення проектування світлодіодних освітлювальних установок та оцінювання їх дискомфортової блискавості доцільно в документації на світильник надавати інформацію стосовно коригуючого коефіцієнта K^2 (або величину $8 \cdot \lg K^2$).

5 Для спрощення проектування світлодіодних освітлювальних установок в документації на світильники та каталогах доцільно вказувати їх максимальну яскравість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочная книга по светотехнике / Пол ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак. — 972 с.
2. CIE 117-1995 Discomfort glare in interior lighting.
3. М. Кноон, Качество освещения светодиодами, Светотехника, 2014, № 5, с. 20-22.
4. Ван Боммель Знания, необходимые современным светотехникам, Светотехника, 2020, № 2, С. 16-32.
5. CIE 232:2019 Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance.
6. CIE 190:2010 Calculation and presentation of united glare rating tables for indoor lighting luminaires.
7. Peter Thorns BSC (Hons), Discomfort caused by Glare from Luminaires with a non-uniform source luminance.
8. Funke Carsten, Schierz Christoph What is the effective luminance or effective area of non-uniform LED luminaires for discomfort glare rating with UGR? Licht 2016: Karlsruhe, 25-28. September: Tagungsband – Proceedings. – Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. – 2016, p.563-570.
9. ISO 8995-1:2002 Lighting of work places - Part 1: Indoor

Received (Надійшла) 24.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2021

Discomfortable and dazzling brilliance of led lamps and fixtures

S. Shpak, G. Kozhushko, S. Kyslytsia, S. Bagirov

Abstract. The paper it was regarding the assessment of uncomfortable gloss analyzed the results of recent researches and recommendations of the International Commission on Illumination (CIE). It was noted that the use of the generalized discomfort indicator (UGR) is ineffective for evaluating LED luminaires with uneven brightness distribution and requires clarification. It was analyzed the temporary changes introduced by CIE into the method for determining the adjusted generalized indicator of discomfort UGR' . The aim of the work was to study the distribution of brightness in typical luminaires for general indoor lighting and to assess their uncomfortable brilliance using the CIE extreme recommendation, as well as to assess the glare and lighting quality based on the limiting brightness curves. The effective brightness of the luminaire radiation and the efficiency of the radiation area were determined using the OST300 test equipment complex, which spectrometric system contains a monochromator, a photometric detector and a light source measurement system that simulates the human eye in the field of view of 100.11 and 1.7 mrad. The accuracy of brightness measurement $\pm 5\%$. The degree of influence of the magnitude of the effective brightness and the coefficient of the effective radiation area of the lamp on the value of the corrected generalized indicator of discomfort UGR was investigated using a lamp in which the diffusers were changed. It is shown that the increase in the generalized indicator of discomfort UGR for luminaires with non-uniform brightness can reach 10 or more units in comparison with luminaires with a uniform brightness distribution. By comparing the results of measuring the brightness of luminaires of various designs with their limiting values established by international standards, we evaluated the possible degrees of glare and the quality of illumination that can be generated by these LED luminaires. Based on the results obtained, conclusions and recommendations were made to improve the assessment of the uncomfortable brilliance of LED lighting installations with uneven brightness distribution and proposals for informing consumers about the brightness distribution and a correction factor that takes into account the effective brightness and the effective radiation area of the lamps.

Keywords: quality of illumination, dazzling brilliance, uncomfortable brilliance, generalized discomfort indicator, effective brightness, effective radiation area, limiting brightness curves.

О. В. Денисенко, А. П. Коваленко, С. М. Пашкевич

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПІДХОДАХ ДО РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

Анотація. Предметом вивчення в статті є визначення умов розподілу транспортних потоків (ТП) на підходах регульованих перехресть, при яких здійснюється комплексна оптимізація елементів циклу світлофорної сигналізації (ЦСС). **Метою** є визначення умов розподілу ТП згідно з обраним критерієм, при якому здійснюється мінімізація затримок транспортних засобів на перехресті і оптимізуються значення елементів світлофорного циклу. **Завдання:** визначення критерію і математичних моделей аналітичних умов оптимального розподілу ТП для різних схем на підході до перехрестя, при яких забезпечується оптимізація затримок транспортних засобів та елементів світлофорного циклу. Отримані наступні **результати.** Розкрито деякі особливості вирішення завдання формування напрямків руху ТП і пошуку оптимальних схем їх розподілу за фазами циклу. Визначено критерій і умови вирівнювання фазових коефіцієнтів для ряду типових схем пофазного роз'їзду, а також математичні моделі аналітичних умов розподілу ТП, що забезпечують оптимізацію затримок транспортних засобів. В ході аналізу досліджень і результатів роботи в подальшому запропонований алгоритм вибору схем організації дорожнього руху на перехресті і послідовність визначення елементів циклу регулювання. **Висновки.** Отримані умови для розподілу ТП на перехресті дають можливість вибору раціональної структури пофазного роз'їзду, істотно зменшити обсяг розрахунків при виборі комплексної схеми оптимізації режимів світлофорного регулювання. Запропонований підхід оцінки технології управління світлофорної сигналізації є комплексним і може бути основою для математичного забезпечення систем автоматизованого проектування світлофорних об'єктів. Моделі розподілу ТП на перехресті необхідні для визначення більш якісної оцінки умов руху, рівня функціонування і вибору найбільш раціональної організації руху і комплексу керуючих дій. Проведені дослідження дозволили розробити алгоритми та програмне забезпечення, які можуть застосовуватися для проектування схем організації руху на перехрестях вулично-дорожньої мережі.

Ключові слова: цикл, перехрестя, затримки, розподіл, смуга руху.

Вступ

Визначення схеми організації дорожнього руху (ОДР) і підвищення ефективності СС на перехресті є актуальним завданням управління ДР.

Автоматизація визначення циклу світлофорної сигналізації (ЦСС) з урахуванням топографії перехрестя, схем пофазного роз'їзду і раціонального розподілу ТП у стоп-лінії є не лише необхідною процедурою оптимального вибору варіанту управління перехрестя, але складовою компоненти інформації для АСУ ДР. Тому в цій статті розглядається пропозиція про можливість коригування відомої моделі визначення параметрів світлофорного циклу з метою зниження сумарних затримок транспортних засобів (ТЗ), вибору раціональної структури пофазного роз'їзду і можливості забезпечення комплексної оптимізації режимів СФР.

Аналіз публікацій. В літературі [1-4] широко освітлено питання розрахунку елементів і тривалості ЦСС ізольованих перетинів. При цьому алгоритмом розрахунку передбачається оцінка якості ОР даних варіантів роз'їзду такими показниками як середня затримка транспортних засобів \bar{t}_3 і пов'язана безпосередньо з нею ступінь насичення напрямку руху X_i . Як показує практика рішення подібних завдань на ЕОМ [1], навіть при використанні найбільш прийняттого діалогового режиму не виникає серйозних складнощів в її реалізації. Завдання значно усклад-

нюється, якщо разом з розрахунком режиму регулювання ведеться пошук оптимальної схеми ОР на перехресті шляхом перебору усіх можливих варіантів за заданим критерієм ефективності, та ще і для декількох програм управління, необхідної для активного періоду доби.

Варіанти перебирають шляхом об'єднання геометричних напрямів руху в регульовані напрями і якщо врахувати, що на кожному підході до перехрестя можуть в принципі існувати 4 варіанти спеціалізації смуг руху, то для звичайного чотирьохстороннього перехрестя у пошуках оптимальної схеми і розподілу ТП по смугах виникає необхідність перебору великої кількості варіантів [2].

Мета і постановка завдання

Рішення таких завдань пов'язане з необхідністю вибору критерію ефективності управління на перехресті [1, 2]. У зв'язку з цим метою дослідження є вибір критерію, який дозволяв, з одного боку, оцінити рівень ОДР на перехресті при заданому режимі руху, причому по будь-якому з напрямів; а з іншої - дати можливість вибору способу управління для оптимізації режимів СФР. У практиці регулювання ДР країн СНД найбільше поширення отримала модель розрахунку елементів ЦСС локального перехрестя, що запропонована Вебстером [1].

Завдання розрахунку дій, що управляють, є багатоступінним і включає: розрахунок потоків наси-

чення M_{nij} і фазових коефіцієнтів Y_{ij} , розрахунок проміжних тактів t_{ni} , об'єднання і розподіл напрямів руху по фазах, розрахунок основних тактів t_{oi} , формування циклу регулювання.

Згідно з Вебстером при випадковому прибутті ТЗ до перехрестя тривалість циклу регулювання визначається [1]:

$$T_u = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - Y}, \quad (1)$$

де T_n - сума тривалості проміжних тактів, с; Y - сумарний фазовий коефіцієнт.

Оптимальна тривалість елементів і ЦСС може визначитися за різними критеріями, проте в практиці більшості країн найчастіше використовують умова мінімізації:

$$\bar{t}_3 = \frac{\sum_{j=1}^n (t_{3j} \cdot N_{ij})}{\sum_{j=1}^n N_{ij}}, \quad (2)$$

де N_{ij} - інтенсивність руху по j -й смузі в i -й фазі регулювання, а затримка окремого автомобіля, що рухається в j -му напрямі визначається [1]:

$$t_{3j} = 0,9 \frac{M_{nij} (T_u - t_{oi})^2}{2 \cdot T_u (M_{nij} - N_{ij})}, \quad (3)$$

де M_{nij} - потік насичення j -й смузі в i -й фазі регулювання; t_{oi} - тривалість основного такту i -ї фази.

Оскільки мінімум затримки відповідає випадку, коли відношення ефективних частин фаз відповідає відношенню фазових коефіцієнтів, то тривалість t_{oi} в i -й фазі регулювання визначається таким чином:

$$t_{oi} = \frac{(T_u - T_n) \cdot Y_i}{Y} \quad (4)$$

Аналізуючи вирази (1-4) можна зробити наступні пропозиції по оптимізації режимів СФР на ізольованому перехресті:

1) необхідно оптимізувати значення M_{nij} і Y_i , що дозволить частково оптимізувати T_u , t_{oi} , X_{ij} і зменшити \bar{t}_3 ;

2) необхідно мінімізувати значення t_{ni} , що дає можливість зменшити T_u і \bar{t}_3 .

За пропонованою методикою необхідно мінімізувати сумарний час основних тактів, для чого мінімізують $Y = \min$ або забезпечують загальний мінімум затримок при старті потоків. Ступінь складності розрахунків по другому варіанту є досить високою [4].

Для мінімізації Y необхідно мінімізувати по можливості кожен з розрахункових фазових коефіцієнтів Y_i , що можливо за рахунок раціонального розподілу ТП на підходах до перехрестя.

Мінімізація значень t_{ni} , як відзначається в [4] можлива за рахунок визначення оптимальної послідовності чергування фаз і регулювання відстані до далекої конфліктної точки, що призводить до зменшення \bar{t}_3 і ефективнішого режиму регулювання на перехресті в цілому.

Розподіли транспортних потоків на підході до перехрестя

При розгляді можливих варіантів удосконалення моделі розрахунків елементів і ЦСС було відмічено, що необхідно мінімізувати $Y = \min$, що можливо за рахунок раціонального розподілу ТП на підходах до перехрестя. Для цього пропонується розглянути ряд типових умов розподілу ТП на підходах до перехрестя (рис. 1): а) ТП $N_3 = N_4 + N_5$ прямого напрям розподіляється рівно між смугами руху, $N_4 = N_5$; б) ТП N_4 і N_5 розподіляється між смугами так, що $Y_1 = Y_2$; в) ТП N_3 при розподілі між смугами, вирівнює ТП цих смуг, $N_1 + N_4 = N_2 + N_5$.

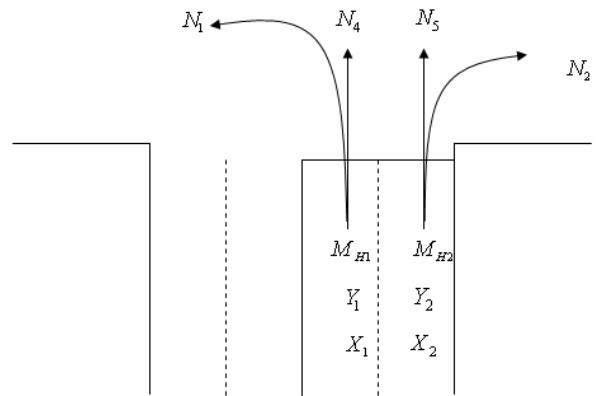


Рис. 1. Схема розподілу ТП на двосмуговому підході

Найцікавішою з перерахованих варіантів є умова б). Для перевірки цієї гіпотези було запропоновано методом математичного моделювання різних варіантів розподілу ТП здійснити оцінку показників якості ОДД на перехресті такими параметрами як \bar{t}_3 і X_{ij} .

Значення Y_i відповідних смуг руху при вказаному розподілі напрямів руху (рис. 1) мають вигляд:

$$Y_1 = \frac{N_1 + N_4}{M_{H1}}, \quad Y_2 = \frac{N_2 + N_5}{M_{H2}};$$

Для умови б) $Y_1 = Y_2$, значення t_{oi} для обох смуг будуть єдиними, тому $X_1 = X_2$ і завантаження смуг буде найбільш рівномірним. Для перевірки цих припущень були проведені розрахунки елементів і ЦСС, \bar{t}_3 і X_{ij} за ідентичними початковими даними відносно усіх трьох умов розподілу ТП.

Для наочності аналізу отриманих результатів на рис. 2 наведена залежність зміни для трьох вибраних умов розподілу ТП. Проаналізувавши результати розрахунків можна відмітити наступне: при другому варіанті розподілу ТП значення \bar{t}_3 є мінімальним; - при цьому вирівнюються значення X_i і найефективніше використовується пропускна здатність підходів до перехрестя. Розрахунки, приведені на графіку, перевірялися для широкого діапазону початкових даних (інтенсивності руху бралися такими, щоб $X_{ij} > 0,5$), і тому представляють загальну картину залежності від розглянутих умов.

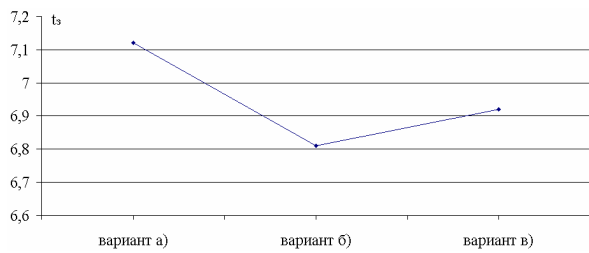


Рис. 2. Залежність зміни \bar{t}_s від умов розподілу ТП по смугах руху

Таким чином, при виборі схеми ОР, доцільно рекомендувати таке розподілення ТП прямого напрямку, при якому забезпечується умова: $Y_1 = Y_2 = \dots$. У зв'язку з цим, виникла необхідність рішення задачі, визначення аналітичних умов розподілу ТП для різних схем підходів до перехрестя. Це дозволить зменшити трудомісткість розрахунків по оптимізації схем СФР і удосконалити проектування ОДР на перехресті. Спочатку були визначені умови розподілу інтенсивностей N_4 і N_5 прямого напрямку N_3 (рис. 1) для двосмугового підходу до перехрестя. Для цього проаналізуємо вираз (4), а також рівняння для визначення M_{H1} :

- потік насичення лівої смуги

$$M_{H1} = 525 \cdot B_{nc1} \cdot \frac{100}{a_1 + 1.75 \cdot b}, \quad (5)$$

де B_{nc1} - ширина лівої смуги руху; a_1 та b - відповідно частини інтенсивностей прямого і лівоповоротного напрямів руху, %:

$$a_1 = \frac{N_4 \cdot 100}{N_1 + N_4}, \quad b = \frac{N_1 \cdot 100}{N_1 + N_4}, \quad (6)$$

- потік насичення правої смуги

$$M_{H2} = 525 \cdot B_{nc2} \cdot \frac{100}{a_2 + 1.25 \cdot c}, \quad (7)$$

де a_2 і b - відповідно частини інтенсивностей прямого і правоповоротного напрямів руху %:

$$a_2 = \frac{N_5 \cdot 100}{N_2 + N_5}, \quad c = \frac{N_2 \cdot 100}{N_2 + N_5}, \quad (8)$$

B_{nc2} - ширина правої смуги руху, м. Відповідно до умови і виразів (5-8) шляхом послідовних перетворень отримуємо значення N_4 і N_5 :

$$N_4 = \frac{B_{nc1} \cdot (N_3 + 1.25 \cdot N_2) - B_{nc2} \cdot 1.75 \cdot N_1}{B_{nc1} + B_{nc2}}, \quad (9)$$

$$N_5 = \frac{B_{nc2} \cdot (N_3 + 1.75 \cdot N_1) - B_{nc1} \cdot 1.25 \cdot N_2}{B_{nc1} + B_{nc2}}. \quad (10)$$

У окремому випадку, коли на підході $B_{nc1} = B_{nc2}$, вирази (9 і 10) спрощуються:

$$N_4 = \frac{N_3 + 1.25 \cdot N_2 - 1.75 \cdot N_1}{2};$$

$$N_5 = \frac{N_3 + 1.75 \cdot N_1 - 1.25 \cdot N_2}{2}.$$

Аналогічним чином визначалися аналітичні умови розподілу ТП для трьохсмугових підходів до перехрестя. Одним з варіантів такого завдання є випадок, при якому інтенсивність прямого напрямку розподіляється по усіх трьох смугах (рис. 3).

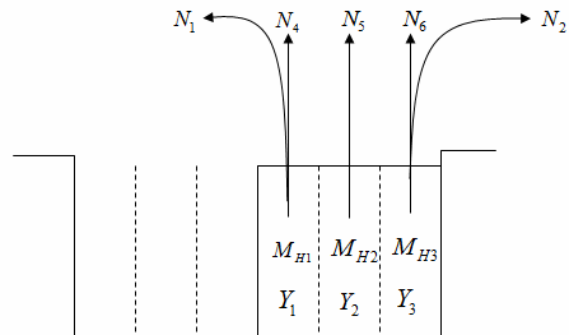


Рис. 3. Схема першого варіанту трьохсмугового підходу

Завдання зводиться до визначення співвідношень між N_4 , N_5 і N_6 , при яких $Y_1 = Y_2 = Y_3$. Оскільки інтенсивність прямого напрямку N_3 визначається

$$N_3 = N_4 + N_5 + N_6, \quad (11)$$

значення для визначення фазових коефіцієнтів лівої смуги залишаються, а для середньої смуги

$$Y_2 = N_5 / M_{H2}, \quad (12)$$

де M_{H2} - ПН середньої смуги, авт./год.

А фазовий коефіцієнт правої смуги

$$Y_3 = (N_2 + N_6) / M_{H3}, \quad (13)$$

де M_{H3} - ПН правої смуги, авт./год.

Потоки насичення і їх складові визначаються:

- ПН середньої смуги $M_{H2} = 525 \cdot B_{nc2}$;

- ПН правої смуги

$$M_{H3} = 525 \cdot B_{nc3} \cdot 100 / (a_2 + 1.25 \cdot c), \quad (14)$$

де $a_2 = N_6 \cdot 100 / (N_2 + N_6)$, $c = N_2 \cdot 100 / (N_2 + N_6)$;

B_{nc3} - ширина правої смуги руху, м.

Згідно з умовою $Y_1 = Y_2 = Y_3$, його можна представити в такому вигляді

$$(N_1 + N_4) / M_{H1} = N_5 / M_{H2} = (N_2 + N_6) / M_{H3}. \quad (15)$$

Далі, підставивши в цей вираз значення ПН

$$N_5 / 525 \cdot B_{nc2} = (N_6 + 1.25 \cdot N_2) / 525 \cdot B_{nc3}, \quad (16)$$

і спростивши його, отримаємо

$$\frac{N_4 + 1.75 \cdot N_1}{B_{nc1}} = \frac{N_5}{B_{nc2}} = \frac{N_6 + 1.25 \cdot N_2}{B_{nc3}} \quad (17)$$

Це рівняння з 3 невідомими N_4 , N_5 і N_6 . Для визначення невідомих складемо матрицю-визначник

$$\begin{cases} B_{nc3} \cdot N_4 + B_{nc3} \cdot 1.75 \cdot N_1 = B_{nc1} \cdot N_6 + B_{nc1} \cdot 1.25 \cdot N_2; \\ B_{nc2} \cdot N_4 + B_{nc2} \cdot 1.75 \cdot N_1 = B_{nc1} \cdot N_5. \end{cases}$$

У окремому випадку, коли ширина даних трьох смуг однакова $B_{nc1} = B_{nc2} = B_{nc3}$, рівняння (17) спрощується до такого вигляду:

$$N_4 + 1,75 \cdot N_1 = N_5 = N_6 + 1,25 \cdot N_2. \quad (18)$$

За умови (11) та $N_4 = K$, послідовно визначаємо $N_5 = K + 1,75 \cdot N_1$; $N_6 = K + 1,75 \cdot N_1 - 1,25 \cdot N_2$. (19)

Звідки

$$K = N_4 = (N_3 + 2,25N_1 + 1,25N_2)/3. \quad (20)$$

Таким чином, значення інтенсивності для середньої і правої смуги N_5 і N_6 можливо отримати підстановкою (20) в рівняння (19). Так само були визначені умови вирівнювання фазових коефіцієнтів для ряду інших типових схем пофазного роз'їзду, коли на підході до перехрестя окремі смуги виділяються або для повороту наліво, або направо.

Для реалізації цих умов при жорсткому режимі ЦСС і випадковому прибутті ТЗ на підходах до перехрестя на кожній смузі на відповідній відстані від стоп-лінії нанести лінію, що відповідає довжині черги з однаковим M_n . Для різного рівня інтенсивностей таких ліній різного значення M_n може бути декілька, причому кожний рівень буде визначатися за кольором ліній. ТЗ прямого напрямку для більш швидкого пересування перехрестя будуть займати місце, де відстань між останнім ТЗ в черзі і відповідною лінією M_n буде найбільшою.

Ще одне рішення може бути реалізовано з використанням електронних показників напрямків руху на

підходах до перехрестя. В цьому випадку при установі на дальніх підходах до перехрестя детекторів фіксації ТЗ і їх довжини кількість автомобілів прямого напрямку по смугах можливо регулювати активністю включення електронних показників.

Цей спосіб може бути використано так для адаптивного, так і жорсткого регулювання ізольованого перехрестя.

Висновки

Запропоновані умови для розподілу ТП на перехресті дають можливість вибору раціональної структури пофазного роз'їзду, істотно зменшити об'єм розрахунків при виборі комплексної схеми оптимізації режимів СФР.

Розрахунки розподілу ТП на перехресті потрібні для визначення більш якісної оцінки умів руху, рівня функціонування та вибору найбільш раціональної організації руху і комплексу керуючих дій.

Запропонований підхід є комплексним до оцінки технології управління СС і може бути основою для математичного забезпечення систем автоматизованого проектування світлофорних об'єктів.

Проведені дослідження дозволили розробити алгоритми і програмне забезпечення, які можуть застосовуватися для проектування схем ОДР на перехрестях ВДМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник [для вузов] / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
2. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985.-144 с.
3. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: Учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
4. Важник Ю.П. Разработка и применение нелинейной модели убывтия автомобилей из очереди при светофорном регулировании: Автореф. дис. канд. технич. наук. – Минск, 1998. -20 с.

Received (Надійшла) 16.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2021

Determination of efficiency of distribution of transport streams on going near the manager crossing

O. Denysenko, A. Kovalenko, S. Pashkevich

Abstract. The article is determination of terms of distribution of transport streams (TS) on approaches of the managed crossing at that complex optimization of loop of the traffic-light signaling (TLS) constructs comes true. **An aim is** determination of terms of distribution of TS according to a select criterion, at that minimization of delays of transport vehicles comes true on crossing and the values of traffic-light loop constructs are optimized. **Research tasks:** determination of criterion and mathematical models of analytical terms of optimal distribution of TS for different charts on going near crossing, at that optimization of delays of transport vehicles and traffic-light loop constructs is provided. **Next results are got.** Some features of decision of task of forming of directions of motion of TS and search of optimal charts of their distribution are exposed on the phases of cycle. A criterion and terms of smoothing of phase coefficients are certain for the row of model charts on phase departure, and also mathematical models of analytical terms of distribution of TS, providing optimization delays of transport vehicles. During the analysis of researches and job performances the algorithm select charts of traffic organization on crossing and sequence of determination of adjusting loop constructs offer in future. **Conclusions.** The got terms for distribution TS on crossing give an opportunity of choice of rational structure on phase departure, substantially to decrease the volume of calculations at the choice of complex chart of optimization of the modes of the traffic-light adjusting. Offered approach estimation of technology of management of the traffic-light signaling is complex and can be the basis for the mathematical providing of computer-aided of traffic-light objects designs. The models of distribution of TS on crossing are needed for determination of more quality estimation of terms of motion, level of functioning and choice of the most rational organization of motion and complex of managing actions. Undertaken studies allowed to work out algorithms and software, that can be used for planning of charts of organization of motion on crossing of street-travelling network.

Keywords: cycle, intersection, delay, distribution, lane.

В. І. Азаренков, В. О. Федоріщева

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРОБКИ ШАБЛОНІВ ДОКУМЕНТІВ В СЕРЕДОВИЩІ LATEX

Анотація. В роботі розглянуті можливості застосування видавничої системи верстки LATEX і її пакетів, що входять в каталог TEX, і призначених для створення документів для навчального процесу, ітеративних тестів і іспитів, а також проаналізовані класи і стилі, які можуть бути безпосередньо використані в якості шаблонів матеріалів для організації і проведення сучасного навчального процесу та олімпіад з будь-якого предмету. Показана принципова можливість автоматизації рутинного процесу створення однакових документів уніфікованої форми різних за змістом на прикладі документації для навчального процесу в рамках однієї організації або міністерства. Зроблено висновки, що кардинальним вирішенням описаних вище проблем може служити використання системи LATEX для підготовки документації та шаблонів, формул будь-якої складності, а використання її власних засобів програмування і написання скриптів з клієнт-серверними технологіями та базами даних є гарним інструментом автоматизації розробки якісної документації. Висвітлено переваги і недоліки LATEX, наведені часткові приклади кодів і лістингів різних рішень.

Ключові слова: LATEX, TEX, тестування, іспит олімпіада, навчальний процес, ітеративне навчання, документація, стиль, шаблон, верстка, автоматизація освіти, інформатизація освіти.

Вступ

Забезпечення навчального процесу вимагає постійної розробки та модифікації навчальної документації відповідно до нормативних вимог, що представляє собою значний перелік: тести, презентації, питання до іспитів, квитки до контрольних робіт, іспитів тощо. Створення таких документів вимагає від викладача роботу з шаблонами. Як правило, таке завдання вирішується простим копіюванням і вставкою питань в текстовому редакторі в «ручному» режимі. Крім того, додаткову проблему становить необхідність розробки великої кількості завдань і практичних прикладів єдиного рівня складності на певну тему. Досить нескладне завдання, якщо кількість квитків невелика. Завдання істотно ускладняється, якщо треба, наприклад, в довільному порядку створити 30 і більше абзців, і стає дуже складною при індивідуальному або дистанційному підході до навчання. Очевидно, що цей рутинний процес давно слід було автоматизувати.

Аналіз стану питання. Аналіз даної задачі показав, що потрібно вирішувати не тільки завдання автоматизації розробки документації, а й автоматизувати верстку документа [1]. Аналіз існуючих програмних засобів показав, що існуючі програмні системи створення навчальної документації в основному вирішують питання створення тестів, але не питання автоматизації і надання в остаточному вигляді необхідних форм [1-6]. На думку авторів безперечним лідером по наданих інструментальних можливостях, якості зверстаного тексту і зручності роботи є система LATEX (в типографському наборі форматується як \LaTeX). Спочатку LATEX створювався для підготовки математичних наукових текстів. В подальшому його можливості в даній і інших областях стали охоплювати все більші аспекти наукової і

просвітницької діяльності. Крім математики, LATEX пропонує широкий спектр інструментів для створення документації та публікацій і в інших областях, таких як фізика, інформатика, хімія, біологія, лінгвістика, музика, Web ресурси, презентації, підготовка навчальних матеріалів і автоматизація виготовлення навчальної документації та навчальних матеріалів тощо.

Метою дослідження є підвищення ефективності роботи викладацького складу в вузі за допомогою автоматизації створення навчальної документації для навчального процесу за рахунок значного скорочення часу на її підготовку та збільшення можливості більше займатися інтелектуальною складовою навчального процесу.

Методи дослідження. Основними методами дослідження є:

- 1) аналіз наукової літератури, присвяченої проблемі автоматизації розробки навчальної документації та питань використання можливостей сучасних інформаційно-комунікаційних технологій в освіті;
- 2) аналіз і узагальнення нормативної документації, пов'язаної з навчальним процесом у вишій;
- 3) аналіз практики і досвіду роботи в галузі викладання в технічному вузі;
- 4) аналіз вибору середовища для реалізації мети дослідження.

Результати досліджень

Розглянемо як приклад формування набору екзаменаційних білетів дисципліни «Видавничі справи і технічне редагування». Для формування квитка використана команда *printbilet*, вхідними параметрами якої є три рядкові змінні (контрольні питання формованого квитка). Для формування pdf-документа, що складається з заданої кількості екзаменаційних білетів необхідно відкомпілювати документ

LATEX відповідного змісту. Результатом компіляції буде документ, у якому будуть зверстані білети у відповідному форматі. Є можливість додання логотипу. Сформовані екзаменаційні білети мають однакові геометричні характеристики і оформлені відповідно до вимог університету.

При необхідності оформлення екзаменаційних білетів для іншої дисципліни або групи потрібно сформувати набір контрольних питань, а потім оформити їх за допомогою команди *printbilet*. Найбільший ефект від даної розробки буде отримано викладачем при її використанні для формування екзаменаційних білетів однієї дисципліни для різних груп за умови збігу набору контрольних питань.

При використанні даного підходу в масштабі університету доцільно оформити описані команди у вигляді стильового файлу, доступного для всіх користувачів, який забезпечить однаковий вигляд розроблених документів.

Розглянемо схожі автоматизовані системи генерації різних питань для квитків, розроблені професором університету Акрона D. P. Story [2, 3] і отримали подальший розвиток у різних університетах світу [4-6]. Така система зазвичай складається з трьох компонент:

1) база завдань, що містить завдання та відповіді у узагальненому параметризованому вигляді;

2) основна програма на одній з мов високого рівня (наприклад, C), підставляє конкретні значення параметрів в загальний вигляд завдання з бази і генерує будь-яку задану користувачем кількість варіантів обраних ним завдань;

3) макроозначення в системі LATEX, що здійснюють верстку згенерованого основною програмою матеріалу в різних необхідних форматах; це списки завдань для домашніх завдань, самостійних і контрольних робіт, екзаменаційні білети, відповіді до завдань, системи комп'ютерного тестування і документи в зручному для проведення іспитів та тестів вигляді тощо.

Все, що повинен зробити викладач, який використовує таку систему – це вибрати потрібні йому класи завдань із бази. Генерація конкретних варіантів завдань, а також верстка отриманого матеріалу і створення відповідного електронного документу відбуваються в автоматичному режимі

Основна база завдань містить матеріал у вигляді стандартної розмітки системи LATEX [6], доповненої кількома командами, які задають структуру бази (рис. 1).

Вибір формату бази обумовлений такими перевагами системи LATEX:

– формули, зверстані системою LATEX, мають високу якість;

– розвинені можливості макропрограмування системи LATEX дозволяють шляхом створення своєї власної розмітки відокремити зміст від оформлення;

– розмітка системи LATEX повністю відкрита, вона, з одного боку, легко піддається лексичному аналізу зовнішніми програмами і, з іншого боку, може ще легше генеруватися цими програмами.

Межа відносини поліномів

35. Знайти межу.

- $a = 1; -1; 2; -2; 3; -3; 4; -4; 5; -5$
- $c = 2; -2; 4; -4; 5; -5; 6; -6$
- $d = 1; -1; 3; -3; 7; -7$

1) $\lim_{n \rightarrow s} \frac{x^3 - a^3}{cx^2 + dx - acx - ad}$

Ⓢ $\frac{3a^2}{ac+d}$

2) $\lim_{n \rightarrow s} \frac{cx^2 + dx - acx - ad}{x^3 - a^3}$

Ⓢ $\frac{ac+d}{3a^2}$

Рис. 1. Приклад подання завдання в базі

Кількість варіантів завдань в класі визначається числом перестановок значень параметрів кожної з параметризацій, використовується класична технологія створення фасетних завдань.

Вихідний файл містить підготовлені варіанти, що розрізняються фрагментами формул. У вихідному файлі, як і в базі, використовується розмітка LATEX.

Список відповідей може складатися з необмеженої кількості як правильних, так і неправильних відповідей. Ця дає можливість для опису тестових завдань, в тому числі і підсумкових з кількох предметів.

До розглянутих завдань по автоматизації створення навчальної документації відноситься і завдання написання і використання сучасних ітеративних лекційних, тестових і екзаменаційних матеріалів, покликаних активізувати самостійну навчально-пізнавальну діяльність студентів. Описаний підхід для автоматизації розробки документів дозволяє створювати різні види завдань, які можуть використовуватися при створенні тестів:

1) закрыта форма тестових завдань, тобто не передбачається введення власної відповіді, необхідно вибрати правильну відповідь або кілька відповідей із запропонованих. До цього ж типу завдань відносять і завдання на встановлення відповідності або вірною послідовності дій. При конструюванні тесту можливо використовувати такі типи завдання:

– з вибором єдиного вірного (або невірного) відповіді із запропонованих,

– з альтернативним вибором,

– з вибором кількох правильних (або неправильних) відповідей,

– на встановлення відповідності,

– з вибором найбільш правильної відповіді,

– завдання, що вимагають відновити вірну послідовність дій, або завдання, в процесі вирішення яких потрібно відновити пропущені елементи.

2) відкрита форма тестових завдань, тобто введення відповіді в символічному варіанті, можливі такі варіанти:

– завдання, в яких потрібно дати числову відповідь,

- завдання, що вимагають відповіді у вигляді символічного виразу,
- завдання, що вимагають доповнення відповіді у вільній формі з обмеженнями на відповідь (числовий, символічний).

Розглянемо і проведемо аналіз одного з можливих шляхів автоматизації створення інтерактивних навчальних тестових матеріалів як дидактичних засобів, що сприяють кращому засвоєнню і запам'ятовуванню навчального матеріалу, запропонованого в [7] на прикладі теми «Інтегральне числення функції однієї змінної». Складені тести мають властивість варіативності за рахунок включення завдань різного рівня складності, що забезпечує диференціацію процесу навчання і дозволяє побудувати індивідуальну траєкторію навчання кожного студента.

Повна структура тестових матеріалів містить:

- 1) теоретичний матеріал, поданий у вигляді інтерактивної електронної лекції;
- 2) приклади ключових завдань з повним обґрунтованим рішенням;
- 3) питання для самоперевірки;
- 4) навчальні інтерактивні тести;
- 5) навчально-контрольні тести для самостійного виконання студентом.

Інтерактивність досягнута за допомогою застосування в системі LaTeX пакета acrotex [2, 3].

Окремі завдання можуть бути представлені в тренувальній формі, що дозволяє після введення помилкових відповідей побачити вірні.

Висновки

Проведено аналіз джерел відкритого доступу на наявність і використання програм автоматизації створення навчальної документації.

Показана своєчасність, актуальність та необхідність вирішення поставленого завдання. На підставі аналізу джерел доведена можливість її вирішення, подальшого розвитку та ефективність практичного застосування на опублікованих прикладах.

Аналіз існуючого програмного забезпечення як інструменту вирішення подібних завдань показав переваги системи LATEX – текстового процесору, програми верстки і система програмування спільно з клієнт-серверними технологіями і базами даних. Запропонований в даній роботі метод автоматизації розробки шаблонів, документів і тестів в середовищі LATEX вимагає тільки володінням самим середовищем (освоєння якої вимагає мінімальних зусиль) і вміння грамотно складати тестові завдання, причому часові витрати – мінімальні.

Завдання такого типу гостро стоять і в інших областях діяльності людини і диктують необхідність підготовки фахівців з LATEX.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаренков В. І. Автоматизація розробки шаблонів документів для навчального процесу, ітеративних тестів і іспитів в LATEX / В. І. Азаренков, В. О. Федорішева // Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУИИ-2019) : Тези шостої науково-технічної конференції. – Харків – Краматорськ : НТУ «ХПІ», 2019. – С. 3.
2. Story D. P. Creating Online Tests with eqExam. *The PracTEX Journal*. TPJ 2005 No 02, 2005. Rev. 2005-04-9. P. 23–33.
3. D. P. Story. AcroTEX eDucation System Tools: LATEX for interactive PDF documents, in preparation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.acrotex.net/data/acrotex/AcroTEX_talk.pdf.
4. Швириков В. В., Омельченко О. Ю. Особливості застосування системи в LATEX для розробки інтерактивних тестів за фізико-математичним і економічним дисциплін. *Інноваційні освітні технології в технічному вузі: Всеросійська науково-методична конференція*. Тамбов : ТГТУ, 2018. С. 1–7.
5. Губаль Г. М. Особливості створення інтерактивних математичних тестів у видавничій системі LATEX / Г. М. Губаль // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : наук. журн. // Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк : 2014. Випуск № 15. – С. 9–13.
6. Ляліков О. С. Система автоматизованої підготовки завдань з вищої математики. *Доповіді Білоруського державного університету інформатики і радіоелектроніки*. Мінськ : БГУИР, 2009. № 2 (40). С. 92–98.
7. Анісімов О. Л., Бондаренко Т. А., Каменева Г. А. Розробка сучасних тестових матеріалів для організації самостійної роботи студентів при вивченні вищої математики із застосуванням пакета LATEX. *Перспективи науки і освіти*. 2019. № 2 (38). С. 428–441. DOI: <https://doi.org/10.32744/pse.2019.2.32>.

Received (Надійшла) 30.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.12.2020

To the question of automation of the development of document templates for the educational process, iterative tests and exams in the latex environment

V. Azarenkov, V. Fedorishcheva

Abstract. The paper deals with the possibilities of using the LATEX editorial layout system and its packages included in the TEX catalog and designed for creating documents for the educational process, iterative tests and exams. It also analyzes classes and styles that can be directly used as templates of materials for organizing and conducting modern educational process as well as Academic Olympics in any subject. The fundamental possibility of the routine process automation for creating uniform unified documents of various contents is shown in terms of the educational process documentation within the framework of one organization or ministry. It is concluded that the comprehensive solution to the problems described above can be the use of the LATEX system for the preparation of documentation and templates as well as formulas of any complexity. Besides, the application of its own programming tools and scripting with client-server technologies and databases is a good tool for the automation of high-quality documentation development. LATEX advantages and disadvantages are highlighted; partial examples of codes and listings of various solutions are given.

Keywords: LATEX, TEX, testing, exam, Academic Olympics, educational process, iterative training, documentation, style, template, layout, automation of education, informational support of education.

К. С. Васюта, Д. А. Чопенко, Н. В. Гармаш

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД СИНТЕЗУ ВАРІАНТІВ РІШЕНЬ У ВІДКРИТІЙ ЕКСПЕРТНІЙ СИСТЕМІ ПУНКТУ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ З УРАХУВАННЯМ РЕСУРСНО-ЧАСОВИХ ОБМЕЖЕНЬ

Анотація. Предметом вивчення в статті є синтез можливих варіантів досягнення рішень з урахуванням заданих ресурсно-часових обмежень у відкритій експертній системі пункту управління Повітряних Сил. Метою є розробка методу синтезу варіантів рішень у відкритій експертній системі пункту управління Повітряних Сил з урахуванням ресурсно-часових обмежень. Проведений аналіз можливості досягнення множини цільових станів по ресурсам і часу на стрічковій діаграмі Ганта та методами мережного планування та управління. Отримані такі результати. Описані етапи синтезу можливих варіантів, особливості представлення варіанту досягнення цілей. Сформульована задача аналізу реалізованості варіантів досягнення цілей. Наведений приклад фрагменту графу варіанту досягнення цілей, що відображає процес вирішення задачі у відкритій експертній системі на пункті управління Повітряних Сил. Описаний метод аналізу реалізованості варіанту досягнення цілей по ресурсам і часу. Запропонована побудова плану реалізації варіанту досягнення цілей. Розглянуто метод, що дозволяє синтезувати нездійсненні плани реалізації. Висновки. Розроблений метод синтезу можливих варіантів рішень дозволяє сформувати в реальному масштабі часу для кожного варіанту розвитку обстановки множини реалізуємих варіантів досягнення цілей (варіантів розподілу ресурсів), якщо вони існують. При цьому враховується той факт, що вихідні дані для розрахунків можуть бути задані як у вигляді точкових значень, так й у вигляді інтервалів можливих значень. Напрямою подальших досліджень є розробка методу коригування варіанту розвитку обстановки у випадку якщо в процесі вироблення рішень для певного виду розвитку обстановки не вдалося сформувати жодного реалізуємого варіанту досягнення цілей.

Ключові слова: пункт управління, відкрита експертна система, ресурсно-часові обмеження, метод мережевого планування та управління, формалізація, структура цільових установок.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. Однією з основних задач відкритої експертної системи (ВЕС) пункту управління (ПУ) Повітряних Сил (ПС) є аналіз обстановки, що склалася, синтез та видача на затвердження командирів можливих варіантів розподілу підпорядкованих сил і засобів по об'єктам впливів, які необхідно здійснити для виконання поставленого завдання, тобто досягнення актуальних цілей управління [1].

При побудові можливих варіантів рішень потрібно враховувати не тільки можливість досягнення актуальних цілей виходячи зі структури узагальненої мережної моделі, а й існуючі обмеження ресурсу та часу виконання завдання ПУ [2]. Це обумовлено тим, що система має обмежений запас впливів кожного типу ресурсу. Тому необхідна розробка відповідного методу, який дозволяє не тільки побудувати можливі шляхи досягнення необхідних цільових станів, а й здійснити аналіз можливості їх реалізації з урахуванням ресурсно-часових обмежень.

Мета статті – розробка методу синтезу варіантів рішень у відкритій експертній системі пункту управління Повітряних Сил з урахуванням ресурсно-часових обмежень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В рамках формально-логічного апарату структури цільових установок (СЦУ) синтезовані можливі шляхи досягнення актуальних цілей представляються у вигляді звичайних мережних моделей [1]. Цю особливість необхідно врахувати при виборі методу, який використовується для перевірки реалізованості різних варіантів по ресурсам і часу. В даному випадку

аналіз можливості досягнення множини цільових станів фактично зводиться до задачі розподілу обмеженого запасу ресурсів для деякої послідовності дій [3].

У роботах [4-6] запропоновано здійснювати аналіз можливості досягнення множини цільових станів по ресурсам і часу безпосередньо на стрічковій діаграмі Ганта. Однак, усі методи планування і управління, що засновані на використанні таких діаграм, мають ряд серйозних недоліків, які не дозволяють їх застосовувати для вирішення задач управління в системах реального часу. Найбільш істотними з них є наступні [6]:

1. Стрічкові діаграми, які використовуються, не відображають всієї складності процесів і не дозволяють уявити різні взаємозв'язки між окремими діями (роботами).

2. Невідповідність цих методів планування і управління різноманіттю розглянутих робіт призводить до збільшення часу реалізації варіанту рішення. Причому найчастіше це відбувається не тому, що встановлені терміни розраховані невірно, а через неузгодженість окремих робіт між собою.

3. Дані методи не враховують існуючу невизначеність, яка притаманна будь-якому реальному процесу управління бойовими діями.

4. Дуже обмежені можливості прогнозу виконання комплексу робіт, що ускладнює вибір правильного рішення при розподілі ресурсів системи.

5. Ці методи не дозволяють здійснювати оперативне коригування плану реалізації комплексу робіт.

Таким чином, методи, що засновані на стрічкових діаграмах неспроможні вирішувати задачі розподілу ресурсів в системах управління реального часу.

В даний час для вирішення задач подібного класу найбільш добре розроблені методи мережного планування та управління (МПУ) [7, 8]. Вони мають ряд переваг стосовно до розв'язуваної задачі.

Слід відзначити той факт, що до структури мережних моделей, які аналізуються методами МПУ, пред'являється ряд вимог [7]:

1) кожна дуга мережної моделі має певну орієнтацію;

2) в мережній моделі не повинно бути "тупикових" вершин (окрім кінцевих) і "висячих" вершин (окрім вихідних);

3) в мережній моделі не допускається наявність контурів і петель;

4) будь-які дві вершини повинні бути пов'язані не більш ніж однією дугою;

5) в мережній моделі не допускається імовірнісне розгалуження;

6) будь-яка робота не може початися поки не будуть закінчені усі попередні роботи (тобто мережна модель містить тільки вершини кон'юнктивного типу);

7) завжди можна так позначити кожну роботу, що її орієнтована дуга починається в вершині, яка має менший номер, ніж вершина, в якій вона закінчується.

У загальному випадку узагальнена мережна модель, що описує процес вирішення задач управління на ПУ ПС, не задовольняє повністю перерахованим вище вимогам, так як вона містить диз'юнктивні вершини і вершини типу розгалужувач (ймовірнісне розгалуження) [1]. Тому застосовувати методи МПУ можна лише для деякої частини узагальненої мережевої моделі, яка містить тільки кон'юнктивні вершини. Крім того, методам МПУ притаманні недоліки, які не дозволяють їх використовувати без доопрацювання для аналізу реалізуємості можливих варіантів рішень у відкритій експертній системі ПУ ПС [7].

Таким чином, методи МПУ можуть бути використані в ВЕС ПУ ПС для аналізу можливості досягнення актуальних цілей управління за ресурсами і часу (рішення задач розподілу обмежених ресурсів), з урахуванням їх відповідного доопрацювання.

Основна частина

У загальному випадку, виходячи з аналізу інформації, яка характеризує обстановку, що склалася і яка використовується особами бойової обслуги ПУ ПС для прийняття рішення неможливо однозначно визначити, як надалі буде розвиватися ситуація [8]. Це обумовлено як цілеспрямованою протидією противника, так і наявністю величезної кількості випадкових зовнішніх факторів. Тому необхідно синтезувати деяку множину різних варіантів розвитку обстановки, які характеризують послідовність дій системи в кожній конкретній ситуації.

При цьому під варіантами розвитку обстановки розуміються різні шляхи досягнення актуальних цілей даної системи управління, які обумовлені наявністю дій з невизначеним результатом (тобто наявністю вершин-розгалужувачів в узагальненій ме-

режній моделі). Мережна модель, яка відповідає варіанту розвитку обстановки, не містить в своєму складі вершин-розгалужувачів.

Загальна кількість варіантів розвитку обстановки в даному випадку обмежена і визначається кількістю і структурою вершин-розгалужувачів узагальненої мережної моделі [1].

Кожному варіанту розвитку обстановки відповідає деяка кінцева множина варіантів досягнення цілей. Фактично варіанти досягнення цілей обумовлені наявністю в узагальненій мережній моделі вершин диз'юнктивного типу [9, 10].

Варіант досягнення цілей характеризується планом реалізації (планом виконання робіт), який визначає послідовністю виконання дій (робіт) у часі, порядок і норми використання відповідних ресурсів. При цьому варіант досягнення цілей є реалізуємим, якщо відповідний йому план реалізації задовольняє наступним умовам:

1. Чи дотримується послідовність, і терміни виконання робіт.

2. Чи не порушуються норми витрати ресурсів, які використовуються.

3. План реалізації варіанту досягнення цілей має певну кінцеву тривалість, що не перевищує встановленої величини t_{mp} .

Під можливим варіантом рішення розуміється один з варіантів досягнення цілей, що реалізується за необхідними запасами ресурсів і часу.

Варіант розвитку обстановки вважається коректним (здійсненим), якщо в даній ситуації система володіє достатнім запасом ресурсів, які необхідні для досягнення цілей управління, і час досягнення поставлених цілей не перевищує встановленого граничного значення. Іншими словами варіант розвитку обстановки, коректний, якщо для нього можна сформулювати, принаймні, один можливий варіант рішення.

Так як заздалегідь ми не можемо знати за яким варіантом надалі будуть розвиватися події, то поставлена задача буде вирішена повністю, якщо всі можливі варіанти розвитку обстановки є коректними. Якщо ж для будь-якого варіанту розвитку обстановки не вдалося сформулювати варіант рішення, то необхідно виконати його коригування.

В системах управління реального часу однією з основних вимог є вимога до оперативності рішення, яке приймається [3]. Тому потрібно оцінити можливість вирішення поставленого завдання в повному обсязі в рамках встановленого часового інтервалу.

При цьому сумарний час, необхідний на синтез і аналіз усіх варіантів досягнення цілей, можна оцінити за формулою (1):

$$t_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^{K_{\text{впо}}} (K_{\text{вдц}} \times t_{\text{сеп}}), \quad (1)$$

де $K_{\text{впо}}$ – кількість варіантів розвитку обстановки; $K_{\text{вдц}}$ – кількість можливих варіантів досягнення цілей в i -му варіанті розвитку обстановки; $t_{\text{сеп}}$ – середній час, необхідний на синтез і аналіз одного варіанту досягнення цілей.

У загальному випадку, кількість варіантів розвитку обстановки визначається кількістю і структурою (кількістю альтернативних відносин) вершин-розгалужувачів і відповідно до цього може бути обчислена за наступною формулою (2):

$$K_{\text{впо}} = \prod_{g=1}^G \sum_{j=1}^{N_{\text{врг}}} (d_j - m), \quad (2)$$

де G – кількість вихідних вершин-розгалужувачів. При цьому вважається, що розглянута вершина є вихідною, якщо на шляху від множини початкових умов до цієї вершини немає ні однієї іншої вершини-розгалужувача; $N_{\text{врг}}$ – сумарна кількість вершин-розгалужувачів, які знаходяться на шляху від g -ї вихідної вершини-розгалужувача до множини вершин, що мають максимальний рівень ієрархії (кінцевих вершин узагальненої мережної моделі); d_j – кількість альтернативних відносин j -ї вершини-розгалужувача; m – змінна, що приймає значення 0, якщо розглянута вершина-розгалужувач є вихідною, та 1 в іншому випадку.

Аналогічно значення величини $K_{\text{вдц}_i}$ визначається кількістю і структурою (кількістю вхідних дуг) диз'юнктивних вершин фрагменту мережної моделі, відповідного i -му варіанту розвитку обстановки, і обчислюється за формулою:

$$K_{\text{вдц}_i} = \prod_{b=1}^B \sum_{s=1}^{N_{\text{дв}_b}} (h_s - l), \quad (3)$$

де B – кількість вихідних диз'юнктивних вершин. Вважається, що розглянута вершина є вихідною, якщо на шляху від цієї вершини до множини кінцевих вершин узагальненої мережної моделі немає жодної іншої вершини диз'юнктивного типу; $N_{\text{дв}_b}$ – сумарна кількість диз'юнктивних вершин, які знаходяться на шляху від b -ї вихідної вершини диз'юнктивного типу до множини вершин ПУ узагальненої мережевої моделі; h_s – кількість дуг, які входять в s -ту диз'юнктивну вершину; l – змінна аналогічна змінній m , тільки замість вершин-розгалужувачів аналізуються вершини диз'юнктивного типу.

Значення величини $t_{\text{сеп}}$ може бути визначено на етапі проектування і тестування ВЕС.

Синтез можливих варіантів рішень з урахуванням заданих ресурсно-часових обмежень повинен включати в себе наступні етапи:

1. *Коригування узагальненої мережної моделі з урахуванням досягнутих цільових станів в ситуації, що склалася в реальній дійсності.*

Спершу здійснюється виявлення ситуації, яка склалася на даний момент часу в предметній області, шляхом аналізу множини означених початкових умов.

Після цього здійснюється усічення узагальненої мережної моделі виходячи з ситуації, що склалася [11]. Фактично на даному етапі виключаються з

подальшого розгляду ЦУ, які є наслідком неозначених ПУ. Досягнуті цільові установки стають початковими умовами для цілей, досягнення яких можливо в майбутньому (облік властивості трансформації цілей).

2. *Синтез можливих варіантів розвитку обстановки.*

На даному етапі визначаються усі можливі варіанти розвитку обстановки, виходячи з нової структури узагальненої мережної моделі. Виділення усіх можливих варіантів розвитку обстановки на графі узагальненої мережної моделі доцільно проводити "знизу-вгору". Це обумовлено тим, що при такому підході найбільш просто виділити випадки альтернативного розгалуження графу з мінімальною кількістю проведених операцій. Так як наявність варіантів розвитку обстановки обумовлено тільки вершинами-розгалужувачами, то для виділення даних варіантів може бути використане наступне правило. Якщо під час руху по графу узагальненої мережної моделі "знизу-вгору" зустрічається вершина типу розгалужувач, то кількість варіантів розвитку обстановки буде дорівнювати кількості виходів розгалужувача, причому гілка, що знаходиться нижче розгалужувача, буде присутньою (буде загальною) в кожному з цих видів.

3. *Аналіз можливості вирішення задачі в повному обсязі в рамках часового інтервалу, який відведений на прийняття рішення.*

На даному етапі визначається можливість синтезу та аналізу усіх варіантів досягнення цілей в заданій проміжок часу. При цьому середній час аналізу $t_{\text{сум}}$ усіх варіантів досягнення цілей можна оцінити відповідно до виразу (1). Якщо обчислене значення $t_{\text{сум}}$ перевищує значення часу, яке відведено на прийняття рішення, то з подальшого розгляду виключається частина варіантів досягнення цілей.

4. *Синтез та аналіз реалізуємості можливих варіантів досягнення цілей для усіх сформованих варіантів розвитку обстановки.*

Синтез варіантів досягнення цілей здійснюється для кожного варіанту розвитку обстановки окремо. При цьому виділення усіх можливих шляхів досягнення цілей доцільно проводити "згори-вниз", в цьому випадку найбільш просто виділити випадки розгалуження деревовидного графу. Процедура виділення варіантів досягнення цілей на графі варіантів розвитку обстановки базується на наступному правилі. Якщо під час руху по графу "зверху-вниз" зустрічається вершина диз'юнктивного типу, то кількість варіантів у списку усіх можливих шляхів досягнення цілей буде дорівнювати сумі кількості вершин, які складають достатні умови досягнення вершини, що аналізуються. Після цього виконується аналіз реалізуємості синтезованих варіантів досягнення цілей. При наявності декількох можливих варіантів рішень (реалізуємих варіантів досягнення цілей), що відповідають одному варіанту розвитку обстановки, здійснюється вибір оптимального варіанту на основі узагальнених показників якості управління.

5. Коригування варіантів розвитку обстановки, для яких не вдалося сформулювати хоча б одного варіанту рішення.

Якщо для деякого варіанту досягнення цілей не вдалося сформулювати реалізуемого варіанту досягнення цілей, то виконання поставленої задачі (досягнення актуальних цілей) в сформульованому раніш вигляді виявляється неможливим. У цьому випадку повинна бути сформульована задача, яка відповідна складу та запасу ресурсів, який мається, шляхом відповідної коригування узагальненої мережної моделі.

Висновок про коректність варіанту розвитку обстановки робиться виходячи з результатів аналізу реалізуємості по ресурсам та часу складових його варіантів досягнення цілей. Тому розглянемо особливості подання варіантів досягнення цілей, які визначають послідовність аналізу його реалізуємості.

Особливості представлення варіанту досягнення цілей визначаються принципами побудови і структурою узагальненої мережної моделі і полягають в наступному [12]:

1. Він включає в себе чітко визначений комплекс дій системи (робіт) по досягненню цілей управління.

2. Мережна модель, яка відповідає варіанту досягнення цілей містить тільки вершини кон'юнктивного типу.

3. Дуги мережної моделі відображають послідовність досягнення ЦУ і відповідають одному з трьох типів робіт: дійсному, фіктивному, очікуванню.

4. Кожній дійсній роботі (відношенню дії між ЦУ) ставиться у відповідність множина ресурсів (норм витрати запасу впливів ресурсів), які можна використовувати для здійснення цієї роботи, та ча-

совий інтервал, необхідний для її виконання. Часовий інтервал визначається ресурсами, які використовуються та початковими умовами виконання роботи і задається у вигляді точкового значення або інтервалу значень.

5. Очікування (відношення передування) – процес, який вимагає витрат часу, але який не вимагає витрат ресурсів. Він характеризується часом очікування яке, як і в разі дійсної роботи, задається точковим значенням або інтервалом.

6. Фіктивна робота (відношення підпорядкування) відображає логічний зв'язок між роботами і вказує на той факт, що можливість початку однієї роботи безпосередньо залежить від завершення іншої.

7. З кожною роботою пов'язана деяка множина робіт, яка безпосередньо їй передує, або робіт які повинні бути виконані до її початку. Якщо ця множина пуста, то робота називається вихідною. Крім того, визначена множина робіт, які безпосередньо слідує за даною роботою. Якщо ця множина пуста, то робота називається завершальною. Елементи цих множин визначають послідовність виконання робіт і залежать від структури графу варіанту досягнення цілей.

8. Система має множину ресурсів R , за допомогою якої здійснюється виконання необхідного комплексу робіт. Модель ресурсів і апарат формалізації знань про правила їх використання викладені у другому розділі.

Приклад фрагменту графа варіанту досягнення цілей, що відображає процес вирішення на ПУ ПС, наприклад, задачі запобігання удару балістичних ракет в ході відображення масованого удару засобів повітряного нападу (ЗПН), наведено на рис. 1.

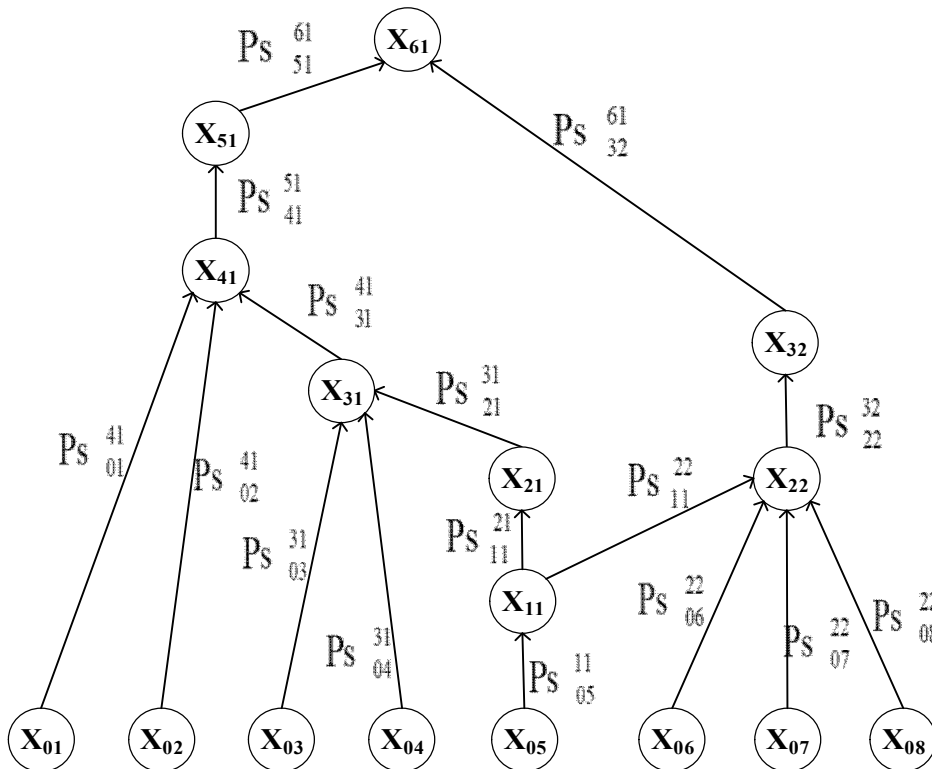


Рис. 1. Приклад фрагменту графа варіанту досягнення цілей, що відображає процес вирішення на ПУ ПС

Розписується семантична інтерпретація вершин розглянутого прикладу фрагменту графа варіанту досягнення цілей, що відображає процес вирішення на ПУ ПС варіантів досягнення цілей.

В загальному випадку, задачу аналізу реалізує-мості варіантів досягнення цілей можна сформулювати наступним чином: скласти здійснений план реалізації варіантів досягнення цілей при відповідних обмеженнях на час досягнення поставлених цілей управління і запас ресурсів, наявних у розпорядженні.

Розрахунок часових параметрів робіт і розподіл ресурсів методами мережного планування і управління можна безпосередньо здійснювати на графі варіанту досягнення цілей, так як він повністю задовольняє вимогам до структури мережної моделі, яка досліджується методами мережного планування та управління.

Час використання ресурсу (час виконання роботи) визначається типом ресурсу, нормативними документами і набором вихідних параметрів для рішення задачі розподілу ресурсів.

Визначення часу виконання дійсних робіт і часу очікування носить явно виражений розрахунковий характер, тому їх обчислення доцільно здійснювати за допомогою спеціально розроблених розрахункових процедур.

У загальному випадку час реалізації робіт, які необхідно виконати для досягнення поставлених цілей управління, може бути задано точковим значенням або інтервалом можливих значень.

У разі якщо час виконання всіх робіт, що належать варіанту досягнення цілей, який аналізується, задані точковими значеннями, то кожному варіанту досягнення цілей відповідає один строго визначений план реалізації. Тому для аналізу реалізує-мості варіанту досягнення цілей необхідно побудувати відповідний йому план реалізації та проаналізувати його коректність з точки зору споживання ресурсів і часу досягнення цілі.

Побудова плану реалізації варіанту досягнення цілей полягає в розрахунку часових параметрів відповідних подій і робіт методами мережного планування та управління.

У разі якщо час використання ресурсів задається інтервалом можливих значень, то при здійсненні аналізу реалізує-мості варіанту досягнення цілей виникає невизначеність в обчисленні часу початку і закінчення робіт. Внаслідок цього виникає невизначеність і в обчисленні кількості витрати запасу впливів ресурсів на кожному часовому проміжку. Тому для коректного виконання процедури розподілу ресурсів перейдемо від інтервального представлення величин до точкового.

Так як час виконання робіт, в залежності від розвитку ситуації, може приймати значення з заздалегідь заданого кінцевого набору (заданого за допомогою відповідного інтервалу), то варіанту досягнення цілей в даному випадку відповідає кінцева множини планів реалізації $\overline{Pl} = \{Pl_1, Pl_2, \dots, Pl_n\}$ [11]. Причому кожен елемент цієї множини є пла-

ном реалізації, в якому час виконання кожної зі складових його робіт задано конкретним числом. Множина \overline{Pl} може бути отримана шляхом повного перебору усіх можливих значень часів виконання робіт. У випадку, коли всі часи виконання робіт варіанту досягнення цілей задані конкретним числом, а не інтервалом, множина \overline{Pl} містить тільки один план реалізації. Кількість елементів множини \overline{Pl} можна розрахувати за такою формулою:

$$n = \prod_{s=1}^S Kz_s, \quad (4)$$

де Kz_s – можливих значень часу виконання s -ої роботи; S – кількість робіт варіанту досягнення цілей, який аналізується.

Тому для того щоб визначити чи є варіант досягнення цілей, який розглядається, реалізує-мим за ресурсами і часу, достатньо побудувати та проаналізувати усі відповідні йому плани реалізації, які є елементами множини \overline{Pl} . Виходячи з цього, можна визначити порядок аналізу реалізує-мості варіанту досягнення цілей по ресурсам і часу.

У загальному випадку, множини планів реалізації \overline{Pl} , що відповідають варіанту досягнення цілей, можна розбити на три непересічні підмножини \overline{Pl}_a , \overline{Pl}_b і \overline{Pl}_c .

Підмножина \overline{Pl}_a включає в себе ті плани реалізації варіанту досягнення цілей які задовольняють обмеженням по ресурсам і часу. Плани реалізації, які не задовольняють зазначеним ресурсним обмеженням, але за допомогою процедури перерозподілу ресурсів можуть бути перетворені в реалізує-мі (тобто коректні з точки зору споживання ресурсів і часу реалізації) належать множині \overline{Pl}_b .

\overline{Pl}_c містить плани реалізації, які не належать множинам \overline{Pl}_a та \overline{Pl}_b . Таким чином, варіант досягнення цілей є реалізує-мим, якщо відповідна йому множина \overline{Pl}_c не містить жодного елемента.

Виходячи з порядку аналізу реалізує-мості варіанту досягнення цілей, у випадку, коли часи виконання усіх складових його робіт задані тільки точковими значеннями і врахувавши особливості аналізу при інтервальному завданні часових параметрів робіт запропонований метод аналізу реалізує-мості варіанту досягнення цілей по ресурсам і часу можна представити в такому вигляді:

1. *Розрахунок часових параметрів робіт варіанту досягнення цілей.*

На даному етапі для кожної роботи розраховується часовий інтервал її виконання та визначається час реалізації варіанту досягнення цілей, який розглядається. Розрахунок виконується за допомогою математичного апарату мережного планування та управління.

2. *Аналіз реалізує-мості варіанту досягнення цілей відповідно до заданих обмежень на час досягнення множини цільових станів.*

На даному етапі здійснюється порівняння розрахованого часу реалізації $t_{кр}$ та заданого допустимого значення t_{mp} . Якщо $t_{кр} > t_{mp}$, то розглянутий варіант не задовольняє обмеженням за часом досягнення заданих цілей управління, тобто є нереалізуємим. На цьому аналіз варіанту досягнення цілей завершується.

3. Аналіз реалізуємості варіанту досягнення цілей відповідно до заданих ресурсних обмежень.

Фактично на цьому етапі здійснюється побудова планів реалізації, що належать множині \overline{Pl}_a . Якщо дана множина містить усі плани реалізації ($\overline{Pl}_a = \overline{Pl}$), то розглянутий варіант досягнення цілей задовольняє усім ресурсно-часовим обмеженням, тобто є реалізуємим. В іншому випадку необхідно перейти до наступного кроку.

4. Виконання процедури перерозподілу ресурсів.

Перерозподіл ресурсів здійснюється тільки для тих планів реалізації, які не можуть бути виконані внаслідок недостатнього запасу ресурсів, тобто не належать множині \overline{Pl}_a . Якщо за допомогою процедури перерозподілу ресурсів план реалізації можна перетворити до плану, що задовольняє поставленим ресурсно-часовим обмеженням, то він належить множині \overline{Pl}_b , інакше розглянутий план реалізації є елементом множини \overline{Pl}_c . Варіант досягнення цілей є реалізуємим, якщо після виконання даного етапу відповідна йому множина \overline{Pl}_c буде порожньою, в іншому випадку варіант досягнення цілей – нереалізуємий.

Далі розглянуто метод, що дозволяє синтезувати нездійсненні плани реалізації без побудови усіх елементів множини \overline{Pl} , що істотно скорочує час, який необхідний на аналіз реалізуємості варіанту досягнення цілей.

Суть даного методу полягає в наступному. В першу чергу потрібно побудувати множину

$$\overline{W} = \{ \overline{W}_1, \dots, \overline{W}_n \},$$

кожен елемент якої є сукупністю робіт, які можуть виконуватися одночасно (паралельно). При цьому передбачається, що сукупність робіт може виконуватися паралельно, якщо дотримуються такі умови:

1. Роботи можуть виконуватися одночасно виходячи зі структури графу варіанту досягнення цілей. Це означає той факт, що для будь-яких двох робіт не існує такого шляху від вихідних подій до кінцевих, який містить обидві ці роботи.

2. Для виконання робіт потрібно витрата запасу впливів одного і того ж ресурсу.

3. Тимчасові інтервали виконання робіт перекриваються.

Після чого для кожного елемента множини \overline{W} обчислюється необхідна кількість ресурсу на певному часовому інтервалі, і розраховане значення порівнюється з запасом впливів ресурсу, який використовується на цьому ж часовому інтервалі. Варіант досягнення цілей є реалізуємим з точки зору

споживання ресурсів, якщо для усіх типів ресурсів системи істинний вираз (5):

$$\forall_{s=1}^n \overline{W}_s \subset \overline{W} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^{k_s} \sum_{q=1}^Q \max_{t=to_s^1}^{to_s^2} He(R_i, t)_{qj} \leq \\ \leq \min_{t=to_s^1}^{to_s^2} V(R_i, t) - \lambda(R_i) \end{array} \right\}, \quad (5)$$

де k_s – кількість робіт, що належать підмножині \overline{W}_s ; Q – кількість норм витрати запасу впливів i -го ресурсу; $To_s^* = [to_s^1, to_s^2]$ – часовий інтервал, на якому можливе одночасне виконання робіт, які належать підмножині \overline{W}_s ; $He(R_i, t)_{qj}$ – q -та норма витрати запасу впливів i -го ресурсу j -ою роботою в момент часу t ; $V(R_i, t)$ – запас впливів R_i ресурсу в момент часу t ; $\lambda(R_i)$ – мінімальний запас впливів ресурсу, який не підлягає витрачання (визначається командиром).

Якщо вираз (5) не виконується, то виділяються сукупності робіт $\overline{W}_r \subset \overline{W}$, для виконання яких потрібно більше ресурсу, ніж існує його в наявності. Після цього синтезуються плани реалізації, що містять на встановлених часових проміжках отримані сукупності робіт \overline{W}_r (процедура синтезу буде описана далі). В результаті цього буде сформована множина планів реалізації варіанту досягнення цілей, які не задовольняють поставленим обмеженням на використання ресурсів системи та вимагають виконання для них процедури перерозподілу ресурсів.

Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, при синтезі на ПУ ПС варіантів дій підпорядкованих сил та засобів необхідно враховувати не тільки можливість досягнення поставлених цілей управління виходячи зі структури узагальної мережної моделі, але й існуючі обмеження на кількість ресурсів, які використовуються, та час виконання завдання. Тому необхідна розробка методу, який дозволяє не тільки побудувати можливі шляхи досягнення цілей, а й здійснити їх аналіз реалізуємості з урахуванням існуючих обмежень.

У загальному випадку, виходячи з аналізу інформації, яка характеризує обстановку, що склалася і використовується особами бойової обслуги ПУ ПС в процесі вироблення рішень неможливо однозначно визначити, як надалі буде розвиватися ситуація. Це обумовлено як цілеспрямованим протидією противника, так і наявністю величезної кількості зовнішніх випадкових факторів. Тому кожній ситуації відповідає деяка множина варіантів розвитку обстановки, які характеризують різні шляхи досягнення актуальних цілей, обумовлені наявністю дій з невизначеним результатом. Варіант розвитку обстановки вважається коректним в даній ситуації, якщо для нього можна сформулювати хоча б один варіант досягнення цілей, що реалізується за ресурсами і часом.

Розроблений метод синтезу можливих варіантів рішень дозволяє сформувати в реальному масштабі часу для кожного варіанту розвитку обстановки множини реалізуємих варіантів досягнення цілей (варіантів розподілу ресурсів), якщо вони існують. При цьому враховується той факт, що вихідні дані для розрахунків можуть бути задані як у вигляді точкових значень, так й у вигляді інтервалів можливих значень.

Якщо в процесі вироблення рішень для певного виду розвитку обстановки не вдалося сформувати жодного реалізуємого варіанту досягнення цілей, то досягнення поставлених цілей управління в даній ситуації неможливо.

В цьому випадку варіант розвитку обстановки потребує коригування.

Напрямок подальших досліджень є розробка методу коригування варіанту розвитку обстановки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васюта К. С. Розробка моделі використання ресурсів у відкритій експертній системі пункту управління Повітряних Сил / К. С. Васюта, Д. А. Чопенко // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2019. — № 6 (58). — С. 9–14.
2. Васюта К. С. Ресурсно-часові вимоги, яким повинні задовольняти синтезовані варіанти досягнення множини цільових станів при формалізації задач управління / К. С. Васюта, Д. А. Чопенко // Новітні технології – для захисту повітряного простору : XVI Міжнар. наук. конф. 15-16 квіт. 2020 р. : тези допов. — Харків, 2020. — С. 36–37.
3. Василенко Д. Е. Метод формализации знания в открытой экспертной системе реального времени в автоматизированных системах управления воздушным движением / Д. Е. Василенко, Д. Н. Обидин, П. Г. Бердник, В. Н. Руденко // Системи озброєння і військова техніка. — 2016. — № 3 (47). — С. 112–117.
4. Wang J. Q. Three-dimensional gantt chart based resource-constrained multiple projects scheduling and critical chain identification / J. Q. Wang, S. F. Zhang, J. Chen, S. Wang, Y. F. Zhang. — 2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. — 2011. <https://doi.org/10.1109/icieem.2011.6035465>.
5. Habibi F. Resource-constrained project scheduling problem: Review of past and recent developments / F. Habibi, F. Barzinpour, S. J. Sadjadi // Journal of Project Management. — 2018. — No. 3. — P. 55–88. <https://doi.org/10.5267/j.jpm.2018.1.005>.
6. Карайман О. О. Тривимірна діаграма Ганта як графічне вирішення проблеми планування проектів з обмеженими ресурсами / О. О. Карайман, А. О. Афонін // Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. — 2019. — Том 2. С. 50-55. DOI: [10.18523/2617-3808.2019.2.50-55](https://doi.org/10.18523/2617-3808.2019.2.50-55).
7. Методи сучасної теорії управління: підручник / А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Івашук. — Київ : Видавництво Ліра-К, 2019. — 368.
8. Загорко О. М. Елементи дослідження складних систем військового призначення / О. М. Загорко, С. П. Мосов, А. І. Сбітнев, П. І. Стужук. — К.: НАУО, 2005. — 99 с.
9. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки рішень: навчальний посібник / С. О. Суботін. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. — 341 с.
10. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, *Computer Communications*, Volume 154, Pages 501-508, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079>.
11. Маценко В. Г. Математичне моделювання: навчальний посібник / В. Г. Маценко. — Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. — 519 с.
12. Лістровий С. В. Теорія автоматичного керування, штучний інтелект і автоматизація процесу прийняття рішення : навчальний посібник / С. В. Лістровий, М. А. Мірошник, Л. А. Клименко. — Харків: УкрДУЗТ, 2019. — 120 с.

Received (Надійшла) 30.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.01.2021

Method for synthesis of solution variants in the open expert system of the air force control point, taking into account the resource-time limits

Kostiantyn Vasiuta, Dmytro Chopenko, Nataliia Harmash

Abstract. The **subject matter** in the article is options for achieving solutions taking into account the specified resource-time constraints in the open expert system of the Air Force control center. The **goal** is to develop a method for synthesizing solutions in an open expert system of the Air Force control center, taking into account resource-time constraints. The analysis of the possibility of achieving a set of target states in terms of resources and time on the strip Gantt chart and methods of network planning and management is carried out. The following **results** were obtained. The stages of synthesis of possible options, features of presentation of options for achieving goals are described. The task of analyzing the feasibility of options for achieving goals is formulated. The given example of a fragment of the graph of the option for achieving goals, which reflects the process of solving the problem in an open expert system at the Air Force control point. A method for analyzing the feasibility of the option to achieve goals in terms of resources and time is described. The construction of a plan for the implementation of the option to achieve goals is proposed. A method is considered that allows one to synthesize impracticable implementation plans. **Conclusions.** The developed method for the synthesis of possible solutions makes it possible to form, in real time, for each scenario of the situation development, a set of realizable options for achieving goals (resource allocation options), if they exist. This takes into account the fact that the initial data for calculations can be specified both in the form of point values and in the form of intervals of possible values. The direction of further research is the development of a method for correcting the variant of the development of the situation if, in the process of making decisions for a certain type of development of the situation, it was not possible to form a single realized variant of achieving the goals.

Keywords: control point, open expert system, resource-time constraints, method of network planning and management, formalization, structure of target settings.

G. Golovko, A. Matiashenko, N. Solopihin

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

DATA ENCRYPTION USING XOR CIPHER

Abstract. This article offers an example of using an application whose main task is to encrypt data such as files and private messages. Data encryption is performed using an encryption algorithm - xor. The XOR cipher is a data encryption algorithm using exclusive disjunction. Acquired widespread use in computer networks in the 90's due to the ease of implementation. Used to encrypt Microsoft Word documents in Windows. The XOR encryption algorithm is to "overlay" a sequence of random numbers on the text to be encrypted. A sequence of random numbers is called a gamma sequence, and is used to encrypt and decrypt data. If you use a key with a length at least equal to the length of the message, the XOR cipher becomes much more crypto-resistant than when using a duplicate key. For cryptological protection of information of the travel company Rest & Travel, EDcrypt software has been created, which performs the following functions: account login; inability to use the system without logging in to the account; notification of entering incorrect user data; message encryption; decryption of messages; the ability to select the recipient of the message; encryption of text files; decryption of text files; sending text files to selected recipients; three interface languages: English, Russian, Ukrainian.

Keywords: cryptography, functions, cypher, xor, operator, algorithm.

Introduction

People tend to protect their secrets. The development of information technologies, their penetration into all spheres of human activity leads to the fact that the problems of information security are becoming more and more relevant every year - and at the same time more complex. There are no universal methods of protection, in many respects the success in building security mechanisms for a real system will depend on its individual characteristics, the account of which is difficult to formalize. Therefore, information security is often considered as a set of informal recommendations for building information security systems of one type or another. However, the practical methods of building protection systems are general laws that do not depend on the technical features of their implementation.

Information security is a multifaceted area of activity in which only a systematic, comprehensive approach can bring success. The range of interests of the subjects connected with use of information systems can be divided into the following categories:

- ensuring accessibility;
- integrity;
- confidentiality of information resources and infrastructure that supports it [1].

Information security is the protection of information from negative influences on it and it is related to technological procedures to ensure protection.

Confidentiality of information is the status of information, which is fixed depending on its importance and requires a certain level of protection. Thus, this concept refers to people, individuals who are responsible for information and decide what information can be disclosed and what to hide from other people.

In fact, the field of information security is not the protection of information, but the protection of property rights to it.

Information is not a material object, information is knowledge, a reflection of reality in the human mind. And only in the future information can be embodied in the material objects of the world around us. However,

not being a material object, information is inextricably linked to the material carrier: it is the human brain or alienated from human material carriers.

Why the problem of using cryptographic methods in information systems has become especially relevant at the moment:

- on the one hand, the use of computer networks has expanded, in particular the global Internet, which transmits large amounts of information of state, military, commercial nature, which prevents the possibility of access to it by outsiders;
- on the other hand, the emergence of new powerful computers, network and neural computing technologies.

Cryptology (kryptos - secret, logos - science) deals with the problem of information protection by its transformation. Cryptology is divided into two areas - cryptography and cryptanalysis. The goals of these areas are exactly the opposite.

Cryptographic information security system is a set of cryptographic algorithms, protocols and procedures for the formation, distribution, transmission and use of cryptographic keys [2].

Code - a set of algorithms for cryptographic transformations (encryption), reflecting the set of possible open data on the set of possible encrypted data, and their inverse transformations. An important parameter of any cipher is a key - a parameter of a cryptographic algorithm that provides a choice of one transformation from the set of transformations possible for this algorithm. In modern cryptography, it is assumed that all the secrecy of the cryptographic algorithm is concentrated in the key, but not in the details of the algorithm (Kirkhoff's principle) [1].

If all of the cryptographic functions stopped working for a day, modern life as we know it would stop. Bank transactions wouldn't go through, internet traffic would come to a halt, and cell phones would no longer function. At this point, all of our important information would be exposed, and it then could be exploited to do unimaginable harm to us all.

Cryptography makes it possible to convert information in such a way that its reading (recovery) is

possible only with the knowledge of the key. Texts based on some alphabet will be considered as information to be encrypted and decrypted [2].

Cryptography is an essential way of preventing that from happening. It secures information and communications using a set of rules that allows only those intended and no one else to receive the information to access and process it.

Analysis of recent research and publications. In our day-to-day lives, the use of cryptography is everywhere. For example, we use it to securely send passwords over vast networks for online purchases. Bank servers and e-mail clients save your passwords using cryptography as well. Cryptography is used to secure all transmitted information in our IoT-connected world, to authenticate people and devices, and devices to other devices.

In computer science, cryptography refers to secure information and communication techniques derived from mathematical concepts and a set of rule-based calculations called algorithms, to transform messages in ways that are hard to decipher. These deterministic algorithms are used for cryptographic key generation, digital signing, verification to protect data privacy, web browsing on the internet, and confidential communications such as credit card transactions and email [6].

The main part of the article

Cryptography is closely related to the disciplines of cryptology and cryptanalysis. It includes techniques such as microdots, merging words with images, and other ways to hide information in storage or transit. However, in today's computer-centric world, cryptography is most often associated with scrambling plaintext (ordinary text, sometimes referred to as cleartext) into ciphertext (a process called encryption), then back again (known as decryption). Individuals who practice this field are known as cryptographers.

Modern cryptography concerns itself with the following four objectives:

1. Confidentiality: the information cannot be understood by anyone for whom it was unintended.
2. Integrity: the information cannot be altered in storage or transit between sender and intended receiver without the alteration being detected.
3. Non-repudiation: the creator/sender of the information cannot deny at a later stage his or her intentions in the creation or transmission of the information.
4. Authentication: the sender and receiver can confirm each other's identity and the origin/destination of the information [1].

The XOR cipher. Simply put, XOR (pronounced "exclusive or") cipher is an additive cypher. It is based on the XOR operation (also known as the exclusive disjunction) in logic.

As a logical operation, XOR is also called modulus 2 additions. In XOR operation, the output is true when the inputs differ. In other words, XOR operation means "either one but not both or none" [3].

The XOR cipher is often used in computer

malware to make reverse engineering more difficult.

If the key is random and is at least as long as the message, the XOR cipher is much more secure than when there is key repetition within a message [2].

The XOR Encryption algorithm is a very effective yet easy to implement method of symmetric encryption. Due to its effectiveness and simplicity, the XOR Encryption is an extremely common component used in more complex encryption algorithms used nowadays.

The XOR encryption algorithm is an example of symmetric encryption where the same key is used to both encrypt and decrypt a message.

The XOR Encryption algorithm is based on applying an XOR mask using the plaintext and a key [4].

Using the example of an application created to encrypt messages and files that are exchanged by Rest&Travel employees, you can see how XOR encryption actually works [7].

After starting the program, we see the login window, if you do not enter the password and login, the program will not allow you to continue working. (Fig. 1). Enter the system (Fig. 2). If the login and/or password is entered incorrectly, the program notifies us and deletes the entered user data.

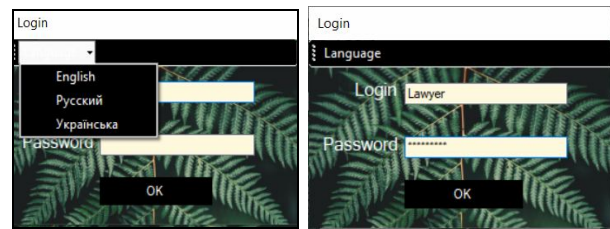


Fig. 1. Choice of interface system Fig. 2. Login to the language

After log in in the main menu we see our login, the account from which we will perform certain actions. We can choose what we want to send messages or files (Fig. 3).

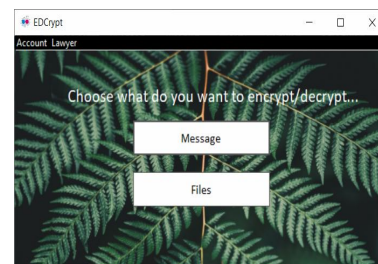


Fig. 3. Main window

To send a message, all we have to do is choose who we want to send the message to, enter the password to encrypt the data, enter the message text and the subject of the message. Similarly, to decrypt data, we only need to enter the encrypted text and send it to the desired user, such as yourself (Fig. 4–6).

To encrypt text files, we need to enter the encryption password, choose where to save the file, enter the subject or file name and click the desired button, then download the file, it is encrypted or decrypted automatically and saved depending on the selected direction (Fig. 7, 8).

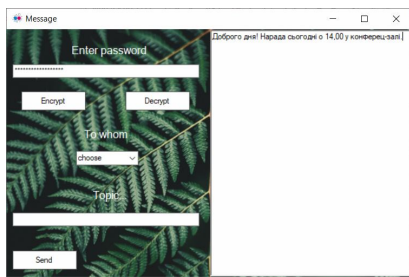


Fig. 4. Sending a message

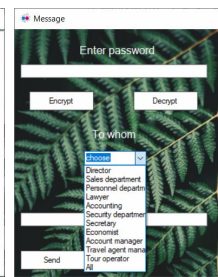


Fig. 5. Recipient selection

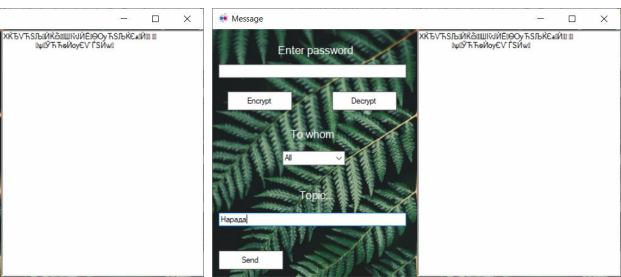


Fig. 6. Sending an encrypted message

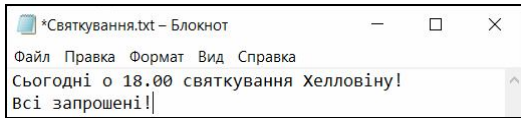


Fig. 7. The contents of the file before encryption

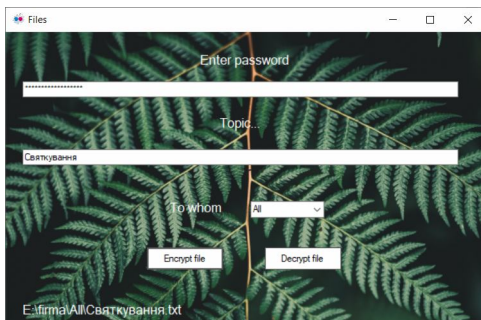


Fig. 8. Upload and encrypt file

Conclusions

Information security - measures taken to prevent unauthorized use, misuse, alteration of information, facts, data or hardware or denial of access to them. As can be seen from the definition, information security

does not provide absolute protection. As a result of the study it was determined when XOR cipher has a random key that is as long as the message itself, it is impossible to crack it. In other words, it offers the highest level of security. When a large quantity of text is to be encrypted, a shorter repeating encryption key is used to match the length of the plain text. However re-using the same key over and over, or using a shorter repeating key results in a less secure method where the cipher text could be decrypted using a frequency analysis.

A significant part of the problems of information security can be solved by organizational measures. However, with the development of information technology there is a tendency to increase the use of technical protection measures and software, including cryptological. At present, crypto-logical protection of information is the most perfect type of restriction of access to data and therefore its use is relevant and necessary. Information security is a precautionary measure that protects information and equipment from threats and the use of their vulnerabilities.

Was created the program to encrypt messages and files that are exchanged by Rest&Travel employees.

REFERENCES

1. Search security, Cryptography, URL: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/>
2. Churchhouse, Robert (2002), Codes and Ciphers: Julius Caesar, the Enigma and the Internet, Cambridge: CU Press.
3. Logsign, How Does XOR Cipher Work?. URL: <https://www.logsign.com/blog/how-does-xor-cipher-work/>
4. 101 computing, XOR Encryption Algorithm, URL: <https://www.101computing.net/xor-encryption-algorithm/>
5. Programming algorithms, XOR Encryption, URL: <https://www.programmingalgorithms.com/algorithm/xor-encryption/>
6. Electronic design, Cryptography: Why Do We Need It? , URL: <https://www.electronicdesign.com/technologies/embedded-revolution/article/21127827>.
7. Golovko G. V., Nikiforova K. M. Information systems use at Poltava national technical Yuri Kondratyuk University. *Control, navigation and communication systems*. 2018. Vol. 3. P. 103-105.

Received (Надійшла) 12.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2021

Шифрування даних за допомогою алгоритму шифрування XOR

Г. Головка, А. Матяшенко, Н. Солопихін

Анотація. Запропоновано приклад використання додатку, головною задачею якої є шифрування даних, таких як - файли та приватні повідомлення. Шифрування даних відбувається за допомогою алгоритму шифрування - хог. Шифр XOR – це алгоритм шифрування даних з використанням виключної диз'юнкції. Набув широкого застосування у комп'ютерних мережах 90-х років у зв'язку зі простою реалізацією. Застосовувався для шифрування документів Microsoft Word в середовищі Windows. Алгоритм XOR шифрування полягає в "накладанні" послідовності випадкових чисел на текст, який необхідно зашифрувати. Послідовність випадкових чисел називається гама-послідовність, та використовується для шифрування та розшифрування даних. Якщо використовується ключ довжиною, як найменше, рівний довжині повідомлення, то шифр XOR стає значно більш криптостійким, ніж при використанні ключа, що повторюється. Для криптологічного захисту інформації туристичної компанії Rest&Travel створено програмне забезпечення EDcrypt, що виконує такі функції: вхід за обліковим записом; неможливість користування системою без входу за обліковим записом; повідомлення про введення некоректних даних про користувача; шифрування повідомлень; розшифрування повідомлень; можливість вибору отримувача повідомлення; шифрування текстових файлів; розшифрування текстових файлів; розсилання текстових файлів вибраним отримувачам; три мови інтерфейсу: англійська, російська, українська.

Ключові слова: криптографія, функції, шифр, хог, оператор, алгоритм.

T. Dmytrenko, T. Derkach, A. Dmytrenko, L. Klochko

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

THE INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT FOR MANAGING THE BUILDING STRUCTURES DEPARTMENT

Abstract. An automated information management system for the higher educational institution department is proposed. To implement the ENQA recommendations at the Computer and Information Technologies Department of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», the task was to create an information system for the unit. The information system will optimize the training procedure, expand the possibilities for analyzing the results, ensure transparency and objectivity in the students training and qualification assessment, which. As a result, will contribute to increasing the citizens' confidence level in higher education. The information system design stages are considered, in which the main technical task sections were drawn up. The information system architecture, the scenario for integrating the system with external software products, initial data sources and options for the initial system content and the access user and administration rights concept and powers have been developed. The department automated information management system functional requirements have been formed. At the stage of information systems designing the main sections of requirements specification have been designed. Being realised, AIS structure corresponds to well-known management control pyramid of the vertical labor division. An information system division has been created to optimize the process of learning, enhance the ability to analyze results, ensure transparency and objectivity in the process of training and qualification assessment of students, as a result, help increase public confidence in higher education.

Keywords: ERP - system, ENQA standards, information, information system, distance learning.

Introduction

One of the promising areas of informatization is the resource management systems development for organizations and enterprises (ERP - systems). Currently, the point issue is the computer support systems construction for university management and the education quality. This problem is dealt with in most countries of the European Union and beyond.

This is due to the constant modernization of national education systems, the Bologna process development, as well as the subject area complexity.

Analysis of recent research and publications. Considering the quality assurance business process in education, we relied on the "Standards and Recommendations for Quality Assurance in Higher Education in the European Space", developed by the European Association for Quality Assurance in Higher Education ENQA on the direct instructions of the Education Ministers Conference of the European countries that signed the Bologna Declaration. The European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA) is an organization that aims to maintain and increase the quality of European education at a high level [1].

The Standards and Recommendations have the following objectives:

- define a common framework for quality assurance systems for teaching and learning at European, national and university levels;
- create an opportunity to ensure and improve the quality of higher education in the European Higher Education Area;
- support the formation of mutual trust, facilitating recognition and mobility within and beyond national borders;
- provide information on quality assurance in the European Higher Education Area (European Higher Education Area).

- The Standards and Guidelines are based on the following four quality assurance principles for accreditation:

- higher education institutions bear the main responsibility for the quality of their educational services and ensuring this quality;
- the quality assurance system responds to the higher education systems diversity, educational institutions, programs and students;
- the quality assurance system supports the quality culture development;
- the quality assurance system takes into account the needs and expectations of students, all involved parties and society [2, 13].

Purpose of the article. Propose an automated information management system project for a university department that fulfil the criteria: reliability in service and safety; compatibility; ease of use and administration; modularity; access security; the software cost, maintenance and hardware [3].

The main part of the article

The work analyzed the practical design solutions experience for IMS of universities that successfully implement information systems to automate management processes. Particular attention was paid to the experience analysis, the EU projects TEMPUS INURE and INARM implementation, the introducing information systems practice in European universities [4].

Using the analysis of existing solutions is the ability to plan the creation of both the ISU as a whole, and its individual stages. So at the Belarusian State University, the development process was divided into 12 stages and provided for the release of 4 versions of the ISU. It is important the schedule is drawn up in such a way at each stage the consumer receives a workable IMS prototype. The EU TEMPUS INARM projects have implemented a competency-based approach in

higher education and the educational descriptors selection. The basis for such decisions is the national qualifications framework approved in Ukraine, the professions classifier, professional standards, as well as educational descriptors at the individual disciplines level. The Dnepropetrovsk National University used a document-oriented approach to the design of IS. At Sumy State University, structural units ratings have been developed as a information component and analytical support for effective university management. Attention is drawn to the student mobile portal implemented at the Dnipropetrovsk National Mining University, which used the experience of the University of Koblenz-Landau (Germany), and also analyzed the operating experience the information system of the Khmelnytsky National University, showed that when placing the main components of the IP (web + database server) on a single server, there are such problems that do not allow providing constant round-the-clock access to the system [4].

In establishing an information portal, general-purpose CMS and special systems were considered and analyzed, including Wiki-systems, learning content management systems (LCMS), distance learning systems, learning management systems (LMS, LMS, VLS), etc. CMS (WCMS), Web-content management system is software that automates the creating processes and maintaining Web sites. As a software development industry, the design and CMS systems implementation is based on advances in the software systems modeling and development methodology [7-9] and software quality assurance [10, 11].

CMS systems include systems such as Drupal, Plone, Joomla, Wordpress. Typo3, 1C-Bitrix, NetCat, DotNetNuke, Mambo.

Adaptive and intelligent learning systems are widely considered in works [7-9].

In the modern information space, there are many distance learning management systems. The most common of them: ATutor, Claroline, Live @ EDU, eFront, Moodle, SharePointLMS (Fig. 1).

The information systems development for distance learning primarily ensures the economic education efficiency and is offered to a wide audience [13].

The distance learning system, which is one of the information system modules "Department's Portal", has a complex structure to ensure interaction between students and teachers [15]. This system is known as the Community of Inquiry (CoI) [14].

According to the ENQA standard, information management is an important element in improving the education quality. Reliable data is essential for making informed decisions and for understanding what is working properly and what needs attention. Effective processes for collecting and analyzing curriculum information and other activities are part of an internal quality assurance system. The nature of the information collected depends to some extent on the type and mission of the institution. In Sovrem particular interest are the following:

- key performance indicators;
- information about students;

- students achievement, progress and elimination indicators;
- the level of student satisfaction with their programs;
- available learning resources and student support services;
- career graduates trajectories.

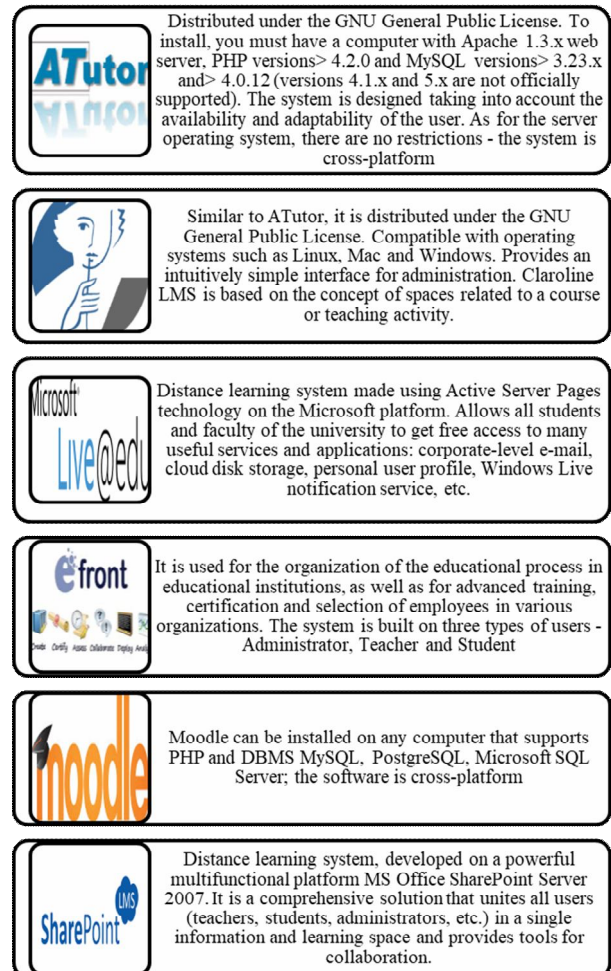


Fig. 1. Comparison of distance learning management systems

Various collecting information methods can be used. It is important that students and staff participate in the provision and information analysis, as well as in the future activities planning [2].

To implement these recommendations at the Department of Computer and Information Technologies of the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», the creating an information system task for the unit was set.

The information system will optimize the training procedure, expand opportunities for analyzing results, ensure transparency and objectivity in the training and qualification students assessment, as a result, will help to increase the citizens' confidence level in higher education, as well as automate reporting on methodological and scientific activities of the department teaching staff.

The design elements determine the fundamental points associated with the information system development and implementation (Fig. 2).

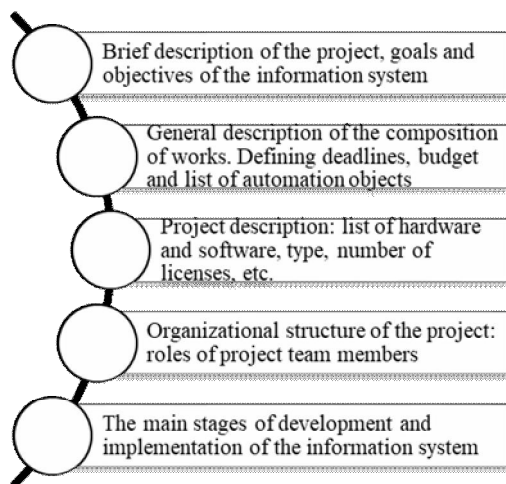


Fig. 2. Design elements

At the information system design stage, the main reference terms sections were drawn up:

- information system architecture;
- a information storage structures description (database);
- design solution, that is, a scenario description for automating the system processes;
- script development for integrating the system with external software products;
- initial data sources and options for the system initial content;
- access rights and power concept development for users and administration.

The system was divided into a number of subprocesses (Fig. 3).

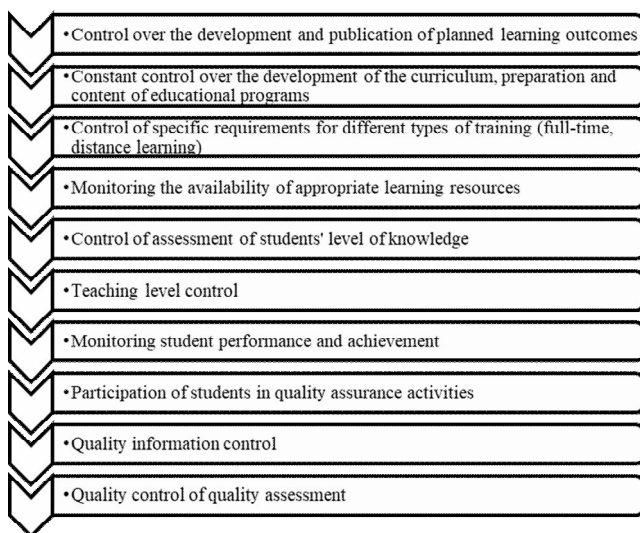


Fig. 3. Subprocesses of the information system

Control over the development and publication of the planned learning outcomes, as well as control over the curriculum development, the drafting and educational programs content involve the draft curriculum submission for discussion by the teaching staff. Based on the discussion results, it is possible to make adjustments.

Monitoring the the students knowledge level assessment is one of the most important processes in

assessing the education quality. The assessment results have important implications for the future students careers. So, knowledge should be assessed on a professional basis, taking into account the latest developments in testing and validation. The assessment procedure results show the method effectiveness for assessing the educational process at the university [4].

Given the assessment importance for the students educational advancement and for their future careers, assessment quality assurance procedures should be based on guidelines recommended by ENQA.

Monitoring the teaching level assumes that the unit (department) management must have mechanisms and criteria for assessing the teachers competence. Monitoring the students success and achievements requires a developed monitoring and analysis system.

Quality reporting control is described as a requirement for the up-to-date regular publication, unbiased and objective, quantitative and qualitative information on implemented programs.

In AIS, the structure corresponds to the well-known management pyramid in the vertical labor division [5]:

1. Subsystem "Department" - a database, a DBMS that automates the collection functions, systematization and primary data processing on the departments and students' activities.

2. Subsystem "Dean's office" - an automated system that monitors the faculty activities based on the data model and system models of the department, teacher, student.

3. Subsystem "Pro-rector" - an automated system for monitoring activities based on models of the faculty, department.

4. Subsystem "University" - DSS, supports the rector (academic council) activities, includes an intelligent software system and experts (advisory council).

The AIS creation is aimed at ensuring control:

- teaching work of teachers (workload: planning, reporting);

- educational students work (progress, attendance, control);

- methodical work (development and accounting of the department disciplines methodological support)

- scientific work (planning, carrying out scientific research);

- educational work (planning and accounting for the department)

- organizational work (planning and accounting for the department, taking into account instructions from the faculty, university).

The automation object is an information system that ensures the higher educational institution department work.

AIS "Information portal of the department", which is implemented as a web application, consists of the main parts:

- public component - the official department website. The main direction is the department achievements presentation on the Internet;

- service component - provides the AIS basic functions;

- external software interface - designed to integrate AIS with the faculty and university information system.

The functional requirements obtained as the regulatory documents analysis result can be grouped as follows:

1. The subsystem "Planning the educational process" should provide:

- curricula formation and editing. The educational process in Ukraine is regulated by the curriculum with the normative disciplines allocation of and variable part disciplines. Based on the curriculum, taking into account the allocated classroom hours and self-study hours, each teacher develops a work program for the discipline.

This takes into account that the discipline can be divided into meaningful modules, which indicate the topics of the lecture material and practical (laboratory, seminar) classes [6];

- teaching load automatic formation for teachers;
- the ability to manually edit the load on the department;
- the ability to control errors when manually editing the load;
- load data transfer to the individual teacher's plan after its approval;
- planned data introduction into an individual plan of all types of work according to approved standards;
- actual data introduction into an individual plan of all types of work;
- formation of the department work plan;
- teacher's report automatic generation, including the rating.

2. Subsystem "Methodological support" should provide:

- data input on the department disciplines methodological support;
- teaching materials publication in electronic form for general access
- finding means the necessary materials;
- report construction on the disciplines methodological support, specialties.

3. The subsystem "Scientific work" should provide:

- data input on the department faculty scientific activity;
- analysis of the department teachers scientific activities;
- creation of reports on the department scientific activities;

4. The "Remote Support" subsystem should provide:

- adding, entering, editing reference books;
- editing formulas for calculating rating indicators;
- testing students in the above disciplines;
- data export functions.

The "Remote Support" subsystem consists of the system logical structural elements (Fig. 4): administration; testing; practical tasks and lectures; training and methodology complex; data collection; feedback; private office.

To accomplish this task, a well-thought-out and convenient the system file structure was developed.

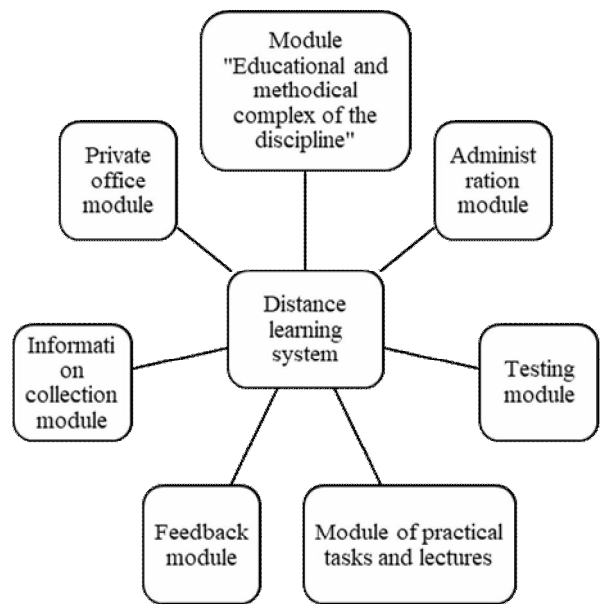


Fig. 4. The LMS logical structure

Based on the analysis of the subject area and regulatory documentation, four main interrelated modules can be distinguished in the AIS structure.

1. The module for planning the educational process is designed to automate such processes.

2. The module for methodological subdivision support is designed to analyze the subdivision activities, generate an automatic report.

3. The module of the division scientific and pedagogical staff activity is designed to automate the forming rating indicators processes and creating reporting information.

4. The remote support module is designed for teachers to work with students remotely.

In the designing process and deploying large hardware and software systems, difficulties always arise while choosing the optimal configuration option for the hardware platform. The difficulty lies in assessing the load on the equipment while using the system by a large users number. The only way to find out how many users a given configuration can handle is to test it on real server hardware. And this already presupposes the equipment availability, that is, its acquisition. What equipment needs to be purchased, in this case, is determined by simple typical calculations and assumptions. This approach cannot guarantee the required performance, and the cause of system failure can be overload, which will be the result of a wrong choice. It is almost impossible to assess the real performance without assessing the particular system response and predicting its behavior under various loads.

To demonstrate the user roles distribution and their capabilities on the site, diagrams were built in the Rational Rose environment.

The conceptual system model is expressed in the use-case diagrams form.

A use cases diagram for the developed system administration is shown in Fig. 5.

The information system "Web portal of the department" is implemented in PHP 5.x, MySQL DBMS, Apache web server, Unix - a similar operating system. The users number varies from 300 to 3000 (depends on the disciplines number taught at the department and the students). The main load on the server will be created by the distance education the Department's Web portal subsystem. The peak server load will occur during sessions.

Therefore, to determine the hardware configuration, the peak loads on the information system were determined.

Also, such parameters as the computing cores (processors) number, the amount of RAM, the network channel required bandwidth.

To simplify the calculations, we introduce the following simplifications:

- all requests come from one node, that is, in front of the server it is in front of the router. (In fact, the server is physically located within the local university network)
- the channel bandwidth between the router and the server is maximum, that is, any number of requests pass through the specified interval.

Based on this, the minimum server configuration was calculated [12]: cores number - 4-8, 8 GB of RAM, bandwidth 2-10 Mbit / s, Apache Web server 32 MB, DBMS - MySQL 32 MB.

Reliable software package functioning is ensured by:

- control of the initial data correctness and completeness- all data entered by the user are checked for formal correctness;
- keeping user actions records;
- failure recovery - in the software failure event, the system must restore operation from the last recorded stable state.

Conclusions

The overwhelming free systems (open source) majority are quite difficult to maintain and require highly qualified specialists to implement and support the system.

The research result was an automated information management system for the higher educational institution department.

The module for remote developed information system support provides for the static training courses preparation based on the authorized users' educational needs, the access organization to the course materials, the communication organization between the participants in the educational process, the control

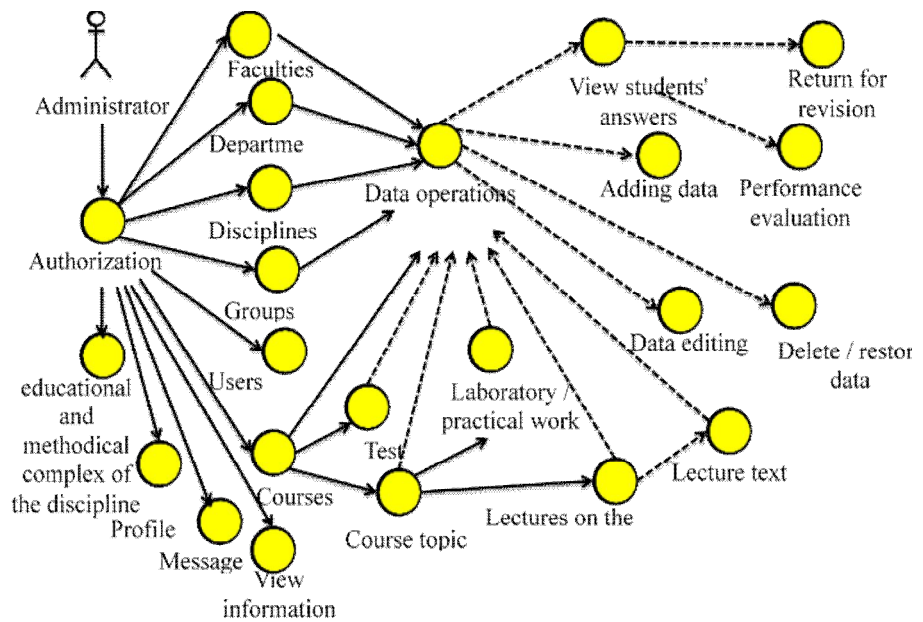


Fig. 5. Diagram of System Use Cases by Administrator

points passage by students and the course completion with an exam.

At the time of the reporting activities within the scientific framework and methodological work, it was associated with some organizational difficulties (interviewing teachers and students, manually filling in the names of conferences and abstracts).

The solutions we have proposed will optimize the notification system, simplify the reporting organization, and socially draw attention to scientific activities.

A feature of the created system is the ability to create in an automated mode reporting on scientific, scientific, methodological and educational teachers work. The information system makes it possible to analyze the department teaching staff activities, gives recommendations for increasing the implementation of the departments scientific activities planned indicators and university scientific departments.

The system provides the ability to automatically collect information about the h-index and the scientific citations number and pedagogical workers, graduate students and doctoral students by the ID ORCID number of the Google Scholar Citations database.

Most of the information systems for the departments work do not make it possible to create reports on the department activities.

The presented system allows authorized users to enter information about their activities on their own. The system provides the ability to check the entered data.

The subsystem "Planning the educational process" of the educational process management in the developed information system includes the following subprocesses:

- student contingent management;
- formation of educational process curricula (curriculum) and schedules;
- working curricula (syllabus) formation;
- students' individual curricula formation;
- teaching load calculation and distribution;

- educational process schedule formation;
- keeping an electronic journal;
- learning outcomes
- students and graduates electronic survey;
- employers electronic survey;
- educational process quality control.

Created the unit information system allows you to optimize the training procedure, expand the possibilities for analyzing the results, ensure transparency and objectivity in the training procedure and qualification students assessment, which, as a result, helps to increase the citizens' confidence level in higher education.

REFERENCES

1. The Standards and guidelines for quality assurance in the European Higher Education Area (ESG). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.enqa.eu/index.php/home/esg> (accessed July 20, 2015).
2. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі вищої освіти. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.enqa.eu/ndirme/esg/ESG%20in%20Ukrainian_by%20the%20British%20Council.pdf
3. Dmytrenko T.A., Dmytrenko A.O., Derkach T.M., Klochko L.A. Scientific and Technical Activities Management Automation of the Department of Structures from Metal, Wood, and Plastics. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 73. Springer, Cham, (2020) https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_36
4. Методологические основы создания, внедрения и развития интегрированной информационной М54 системы управления университетом / под ред. С. В. Чернышенко, Ю. И. Воронницкого. – Сумы : Сумский государственный университет, 2015. – 343 с.
5. Ashimova D. E. Information system of the results of scientific activities at the University / D.E. Ashimova, A. Zh. Amirov, V. K. Sultanova, D. A. Kabylova // Scientific Almanac, 2016. – № 2 (11). – С. 22–25.
6. Завгородній В. В. Концепція створення єдиного інформаційного освітнього простору України на прикладі дистанційного навчання ІТ-студентів / В. В. Завгородній, К. М. Ялова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Випуск 2 (85). – С. 112 – 118.
7. Sviridov S. Information and analytical accounting system for the scientific activity of academic institution/ S. Sviridov // First International Conference on Ocean Thermohydraulics-2017, <https://doi.org/10.29006/978-5-9901449-3-4-2017-1-144-147>, last accessed 2020/05/03.
8. Дмитренко Т.А. Деркач Т.М., Демиденко М. І., Дмитренко А. О Розробка автоматизованої інформаційної системи «Портал кафедри ВНЗ» / Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Випуск 1(102) – С. 32-40.
9. Богомолов А.В. Обзор бесплатных систем управления обучением // Educational Technology & Society 10 (3). – 2017.
10. Михеев И. В. Система количественных характеристик оценки качества программных продуктов / И. В. Михеев, О. В. Виштак, Д. В. Кондратов // Программные системы и вычислительные методы. – 2018. – №2. – pp. 28-35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kolichestvennyh-harakteristik-otsenki-kachestva-programmnyh-produktov> (дата обращения: 18.02.2021).
11. De Bra, P. Web-based educational hypermedia/ P. De Bra // Book chapter in: Data Mining in E-Learning / [edited by C. Romero and S. Ventura]. – Universidad de Cordoba, Spain, WIT Press., 2006. – P. 3-17.– ISBN 1-84564-152-3.
12. Лямин А.В., Методика расчета вычислительной мощности программно-аппаратного комплекса для проведения ЕГЭ в компьютерной форме / А.В. Лямин, А.А. Скидлевский // Научно -технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – № 56. – С. 103-111. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ntv.ifmo.ru/file/journal/53.pdf> (accessed July 25, 2016).
13. Jie C. Y. Effects of online presence on learning performance in a blog-based online course / C. Y. Jie, Q. Benazir, C. Nian-Shing, M. Qiang // Internet and Higher Education. – 2016. – № 30 – P. 11–20 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://staff.csie.ncu.edu.tw/yangjc/paper/2016_IntHighEdu_Yang.pdf (accessed October 28, 2016).
14. Dabbagh N. Personal learning environments, social media, and self-regulated learning: A natural formula for connecting formal and informal learning / N. Dabbagh, A. Kitsantas // The Internet and Higher Education. – 2015. – № 15(1). – P. 3 –8.
15. Ekwunife-Orakwue K. C. V. The impact of transactional distance dialogic interactions on student learning outcomes in online and blended environments / K. C. V. Ekwunife-Orakwue, T. L. Teng // Computers & Education. – 2016. – № 78. – P. 414 – 427.

Received (Надійшла) 18.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

**Розробка інформаційної системи
управління кафедрою «Будівельних конструкцій»**

Т. А. Дмитренко, Т. М. Деркач, А. А. Дмитренко, Л. А. Клочко

Анотація. У даній статті запропоновано автоматизовану інформаційну систему управління кафедрою вищого навчального закладу. Для реалізації рекомендацій ENQA на кафедрі комп'ютерних та інформаційних технологій національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» була поставлена задача створення інформаційної системи підрозділу. Інформаційна система дозволить оптимізувати процедуру проведення навчання, розширить можливості для аналізу результатів, забезпечить прозорість і об'єктивність в процедурі навчання і кваліфікаційного оцінювання студентів, що, в підсумку, буде сприяти підвищенню рівня довіри громадян до вищої школи. Розглянуто етапи проектування інформаційної системи, в яких були оформлені основні розділи технічного завдання. Розроблено архітектуру інформаційної системи, сценарій інтеграції системи з зовнішніми програмними продуктами, джерела вихідних даних і варіанти початкового інформаційного наповнення системи і концепція прав доступу і повноваження користувачів і адміністрування. Сформовано функціональні вимоги автоматизованої інформаційної системи управління кафедрою.

Ключові слова: ERP - система, стандарти ENQA, інформація, інформаційна система, дистанційне навчання.

А. А. Коваленко¹, Г. А. Кучук², В. М. Ткачов¹

¹Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ VPN-ТУНЕЛЮВАННЯ

Анотація. В статті проаналізовано основні підходи до забезпечення живучості комп'ютерних мереж. Показано, що методологія забезпечення живучості, яка застосовується до комп'ютерних систем має часткову відмінність за ту, що застосовується до комп'ютерних мереж, що пов'язано з активним розвитком технологій віртуалізації. **Метою** статті є розробка методу, який дозволяє забезпечити живучість комп'ютерної мережі, яка є інформаційним середовищем для гарантованого надання цифрових послуг, шляхом використання віртуальних тунелів, заснованих на принципах VPN-тунелювання для делегування «білих» IP-адрес в комп'ютерній мережі, або схеми маршрутизації потоків даних при використанні внутрішніх VPN-серверів з єдиною «білою» IP-адресою. Отримані **результати** дозволяють: сформулювати наукову задачу з формалізацією необхідних технічних вимог до розроблюваної комп'ютерної мережі; розробити прикладне рішення забезпечення живучості комп'ютерної мережі, засноване на використанні множинних VPN-тунелів; провести ряд експериментів з дослідження ефективності використання різних мережних протоколів в VPN-тунелях; створити підґрунтя для подальший розвитку методології забезпечення живучості комп'ютерних систем для забезпечення безперервності процесів управління мережними інфраструктурами. Дослідження дозволяють зробити **висновки**, що запропонований метод може бути використаний на етапах проектування комп'ютерних мереж в частині визначення показників надлишковості при реалізації принципів управління елементами мережі як то сервери, шлюзи, технологічне обладнання тощо.

Ключові слова: живучість, комп'ютерна мережа, віртуалізація, VPN.

Вступ

Постановка проблеми. Технологічний прогрес стоїть на порозі п'ятої промислової революції. Її особливістю є зміна характеру виробничої діяльності: якщо цифрова трансформація четвертої промислової революції робить продукцію клієнтоорієнтованою, то в епоху п'ятої – продукція стане масово персоналізованою [1]. Це означає, що ланцюг поставок товарів і послуг буде орієнтованим на персонального клієнта. Якість та гарантія надання цифрових послуг персонально кожному клієнту в таких умовах є запорукою сталого розвитку вендорів ІТ-сервісів з огляду показника стійкості середовища їх поставки [2].

Таким чином, актуальною задачею є розробка технологічних засад щодо забезпечення на задовільному рівні показника стійкості інформаційного середовища, в якому відбувається гарантоване надання цифрових послуг.

Одним із підходів до вирішення цієї задачі є використання технології віртуальних тунелів (приватних віртуальних мереж) в комп'ютерних мережах між клієнтами, сервісними майданчиками, хмарними інфраструктурами тощо. Стійкість комп'ютерної мережі проти факторів зовнішнього впливу, що призводять до втрати нею основних функцій, лежить в основі поняття живучості комп'ютерної мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує велика кількість методів та технологій забезпечення живучості комп'ютерних мереж. Зокрема, відома наукова школа проф. Доднова О.Г., вченими якої створено апарат формалізації задач, пов'язаних з забезпеченням живучості інформаційних систем, запропоновано ряд стратегій

та концепцію забезпечення живучості, розроблено ряд методів та цілих методологій [3]. В їх основі лежить ідея, що будь-який вузол будь-якої системи характеризується рядом станів, які визначають виконання ними основної функції. Для кожного стану необхідно напрацьовувати рішення, які відносяться до функцій системи: вибір набору функцій, які складають ціль функціонування системи та вибір алгоритму реалізації цих функцій, при яких необхідно вирішувати задачу протидії порушенням функціонування системи.

Недоліком відомого рішення є доволі складна його адаптація при створенні прикладних комплексів, заснованих на сучасній технологічній базі.

В роботі [4] наведені показники і параметри, що характеризують живучість телекомунікаційної мережі, запропоновано метод забезпечення її живучості на основі перерозподілу ресурсів мережі для обслуговування потоків вимог при виникненні несприятливих впливів дозволяє. Авторами декларується, що використання їх методу дозволяє виконати оцінку працездатності мережі на основі запропонованого в роботі показника та знайти «вузькі місця» мережі для можливості їх резервування за рахунок збитковості ресурсів мережі.

Однак, запропонований метод дозволяє оперувати виключно з вузлами, які піддаються реконфігурації, що не завжди можливо в умовах гетерогенності мережі Інтернет, використання віртуальних мереж вендорів хмарних послуг тощо.

Метою статті є розробка методу, який дозволяє забезпечити живучість комп'ютерної мережі, яка є інформаційним середовищем для гарантованого надання цифрових послуг, шляхом використання віртуальних тунелів, заснованих на принципах VPN-тунелювання.

Основна частина

Теоретичне обґрунтування. На відміну від показників живучості, які застосовуються до інформаційних систем [4, 5], до комп'ютерних мереж можна застосувати найбільш суттєві з них:

- кількість зовнішніх деструктивних впливів, при яких комп'ютерна мережа втрачає можливість виконувати основну функцію;
- мінімальна кількість функціонуючих елементів мережі, при яких вона не втрачає можливість виконувати основну функцію;
- ймовірність збереження комп'ютерною мережею стану відновлення протягом запланованого часу.

В основі запропонованого рішення лежить використання принципів VPN-тунелювання [6]. Найбільш уживаною критеріальною базою цього рішення є наведене у [4, 5]. Зокрема варто виділити такі критерії як:

- критерій динаміки швидкості передачі даних в умовах деградації елементів мережі;
- критерій оцінки ефективності застосування сценаріїв відновлення функціональних можливостей комп'ютерної мережі після збоїв або перебудови віртуальних тунелів;
- критерій відповідності елементів та всієї комп'ютерної мережі визначеним показниками якості та безпеки передачі даних.

Спочатку розглянемо модель комп'ютерної мережі для якої потрібно вирішити сформульовану задачу. Нехай у комп'ютерній мережі є три компоненти [7]:

- деякий сегмент комп'ютерної мережі підприємства, що складається з n обчислювальних станцій. $(n+1)$ -обчислювальна станція підключена через комунікаційне обладнання, що забезпечує низькошвидкісний, нестабільний канал передачі даних. В мережі функціонує сукупність обчислювальних станцій, які виконують операції реєстрації, обробки, збереження та передачі інформації;
- вендор ІТ-послуг, що надає «білі» IP-адреси за технологією VPN-тунелювання;
- власне, обчислювальна станція користувача, підключена до мережі Інтернет.

Метою обчислювальної станції користувача є підключення до обчислювальних станцій або модулів, які інтегровані в ці обчислювальні станції, та виконують операції реєстрації, обробки, збереження та передачі інформації, шляхом емуляції віддаленого USB-інтерфейсу.

Модель запропонованої комп'ютерної мережі відноситься до класу структурних систем, саме тому актуальним є забезпечення саме структурної живучості шляхом вибору відповідного критерію живучості. За показником ефективності доцільно обрати здатність комп'ютерної мережі перерозподіляти потоки даних і продовжувати виконувати покладену на неї основну функцію після того, як окремі елементи вийшли з ладу, порушуючи структуру мережі, як то нестабільний канал зв'язку або VPN-тунель.

Аналізуючи існуючі методи забезпечення живучості комп'ютерних мереж, можна сказати, що

вони спираються на такі базові принципи як розпізнавання загроз, протидії їм, відновлення у разі деструктивного впливу, адаптації до нових умов функціонування шляхом структурної реконфігурації.

Отже, для організації віртуальної мережної інфраструктури, яка б характеризувалася відповідним рівнем живучості в умовах використання низькошвидкісних, нестабільних і незахищених каналів передачі даних, пропонується наступна послідовність дій.

Крок 1. Необхідно здійснити налаштування механізму трансляції «білої» IP-адреси в сегмент мережі підприємства шляхом використання VPN-сервера. Для цього існує широкий спектр відомих технічних рішень, заснованих на використанні протоколу PPTP. Згідно умови задачі, якщо будуть використані виключно функції видачі «білої» IP-адреси, то процеси передачі інших даних (керуючих команд, часової синхронізації і т.д.) з боку одержувача (спеціальна обчислювальна станція в мережі підприємства) здійснюватися не будуть. Тому, враховуючи останні досягнення в криптостійкості протоколів шифрування, що забезпечують функціонування протоколу PPTP, вибір цього протоколу є очевидним. Однак, можна використовувати більш криптостійкі рішення, наприклад, OpenVPN, однак додатково необхідно вирішувати задачу мінімізації часових затрат, які можуть з'явитися при надмірному потоці даних, які відлягають шаруванню.

Крок 2. У сегменті комп'ютерної мережі підприємства на обчислювальній станції, який має доступ до мережі Інтернет через нестабільний канал зв'язку, створюється клієнтська частина VPN-тунелю. Згідно умов задачі, у якості нестабільного каналу зв'язку, який впливає на живучість комп'ютерної мережі передачі даних, є мережа мобільного оператора. Цей оператор, надаючи доступ до мережі Інтернет обчислювальній станції сегменту мережі підприємства, адресує їй «сірі» IP-адреси. Таким чином, VPN-тунель між сервером та клієнтом є середовищем, через яке здійснюється адресація «білої» IP-адреси в сегмент мережі підприємства.

Крок 3. На базі $(n+1)$ -обчислювальної станції розгортається VPN-сервер, який у якості WAN-інтерфейсу буде використовувати отриману раніше «білу» IP-адресу. Тобто, VPN-сервер буде приймати вхідні запити від користувача з мережі Інтернет на WAN-інтерфейс, а у відповідь на запит, транслювати «сірі» IP-адреси з сегменту комп'ютерної мережі підприємства.

Крок 4. Користувач виконує налаштування своєї частини VPN-тунелю. При підключенні до VPN-сервер обчислювальна станція користувача буде вузлом комп'ютерної мережі підприємства. Важливо зауважити, що використання шлюзу, який одночасно є VPN-сервером, – не рекомендується, так як це збільшує навантаження на тунель, що в свою чергу, може призвести до зменшення пропускнувості VPN-тунелю.

Крок 5. У разі використання гібридних моделей створення віртуальних мереж, які засновані на використанні комп'ютерних мереж провайдерів, які не

використовуються у якості опорних вузлів схеми маршрутизації, можлива додаткова оцінка часових затримок між сегментами мереж провайдерів. Створення оверлейних мереж за таким принципом дозволяє зменшувати часові затримки, тим самим підвищуючи показник живучості мережі у разі деградації міжпровадєрських опорних мереж зв'язку.

На рис. 1 наведена схема методу, описана в роботі.

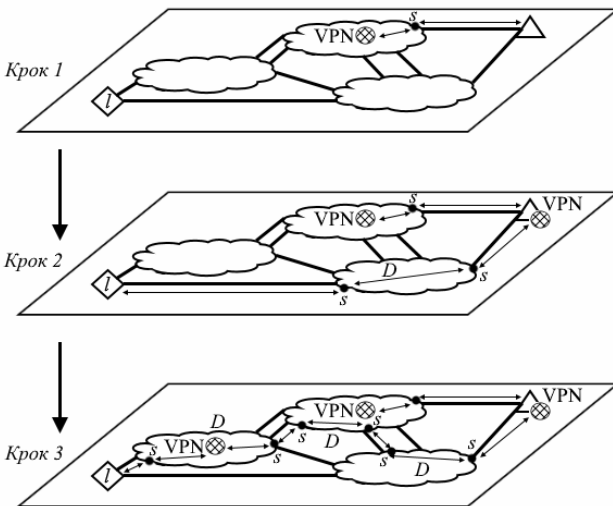


Рис. 1. Схема методу забезпечення живучості

Виходячи з того, що користувачів, які надсилають запити на підключення до сегменту мережі підприємства, може бути більш одного, доцільно виконати оцінку стану пропускної здатності каналу передачі даних між кожною обчислювальною станцією користувачів і VPN-сервером. Це необхідно при розрахунку показників мережного балансування в разі коливання пропускної здатності нестабільного каналу зв'язку, тобто, коли виникає класична проблема дефіциту ресурсу пропускної здатності.

Отже, для оцінки стану пропускної здатності VPN-тунелів необхідно, щоб всі прикордонні пристрої маршрутизації потоків даних користувачів передавали спеціальні пакети даних до VPN-серверу підприємства [8]. Для прикладу розглянемо доставку пакета від обчислювальної станції в сегменті комп'ютерної мережі підприємства до всіх підключених обчислювальних станцій користувачів VPN-мережі і визначимо значення пропускної здатності, яка не ефективно використовується під час обміну даними.

Загальну пропуску здатність VPN-тунелю окремо взятого підключення до сегменту комп'ютерної мережі підприємства через VPN-тунель можна обчислити аналітично як з'єднання «точка-точка»:

$$\Psi = D\ell(2S + (2i - 1) \sum_{i=1}^{\log_2 S} 2^{i-1}), \quad (1)$$

де D – кількість проміжних вузлів маршрутизації між VPN-мережами (в тому числі віртуальних вузлів); S – кількість прикордонних вузлів маршрутизації; ℓ – кількість обчислювальних станцій користувачів.

З іншого боку, якщо, наприклад, схема передачі даних реалізована за принципом «точка – три точки»

для кожного з VPN-тунелів всім користувачам VPN-мережі (наприклад, для широкомовної відправки телеметрії), то загальна пропускуна здатність має вигляд:

$$\Psi' = D(1 + \log_2 S + \sum_{i=1}^{\log_2 S} 2^i + \ell S), \quad (2)$$

Таким чином, для запропонованого прикладу комп'ютерної мережі значення пропускної здатності, яка використовується неефективно та може бути використана у якості фактору підвищення збитковості комп'ютерної мережі у разі настання події забезпечення її живучості є:

$$\theta = D(\ell S - YW), \quad (3)$$

де Y – середня кількість вершин VPN-мережі, залежна від кількості вузлів маршрутизації в сегменті мережі з організації транспорту трафіку через «білі» IP-адреси; W – кількість гілок дерева маршрутизації в каскадних (або резервних) схемах підключення [8].

Прикладне обґрунтування. У 2019 р. на базі лабораторії кафедри Електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки, в рамках виконання наукового проекту з розробки прикладного рішення дистанційного керування мікроконтролерним обладнанням і здійснення доступу до локальної обчислювальної станції збору телеметричної інформації лабораторії було апробовано розроблений метод забезпечення живучості віртуальної мережі з використанням багатопшляхового VPN-тунелювання [9]. Додатковими вимогами і умовами виконання прикладної задачі були: комп'ютерна мережа лабораторії організована через мережний шлюз, який, в свою чергу, підключений до 4G-модему; мобільний провайдер Інтернет-послуг не надає «білих» IP-адрес; нестабільний канал зв'язку провайдера Інтернет-послуг.

Щодо користувачів, то виділяється два типи: ті, які можуть надсилати команди управління мікроконтролерному обладнанню (через спеціалізоване програмне забезпечення) і спостерігати за виконанням задачі на своїй обчислювальній станції (в цьому випадку обчислювальна станція носить назву дистанційно-керуючої); і ті, які можуть надсилати команди управління мікроконтролерному обладнанню, завантажуючи їх з локальної обчислювальної станції комп'ютерної мережі лабораторії і періодично перевіряти виконання задачі за допомогою відділеного доступу до цієї станції.

Виходячи з вищесказаного, умовно задачу можна розбити на кілька підзадач: організація зовнішнього інтерфейсу комп'ютерної мережі лабораторії для можливості підключення користувачів із зовнішньої мережі Інтернет (реалізується ідея безперервної взаємодії з мікроконтролерним обладнанням); і організація дистанційного доступу до локальної обчислювальної станції лабораторії з метою локальної постановки задачі і моніторингу виконання роботи мікроконтролерного обладнання. Так як мікроконтролерне обладнання може взаємодіяти з локальною обчислювальною станцією лабораторії, яка знахо-

диться в одному сегменті мережі з нею, обчислювальна станція користувача повинна мати ту ж IP-адресацію, що і в комп'ютерній мережі лабораторії.

В даному випадку був використаний вище запропонований метод. В даному випадку одна з обчислювальних станцій комп'ютерної мережі лабораторії була налаштована в ролі VPN-сервера. Однак, так як Інтернет-провайдер не мав можливості делегувати «білу» IP-адресу, було прийнято рішення отримувати «білу» IP-адресу в мережі третього провайдера. Тепер обчислювальна станція, що виконує функцію шлюзу комп'ютерної мережі лабораторії, підключаючись до VPN-сервера третього провайдера отримує «білу» IP-адресу. Далі була вирішена зворотна задача, коли на обчислювальній станції, що виконує функцію шлюзу комп'ютерної мережі лабораторії, встановлений VPN-сервер, у якого, в якості WAN-інтерфейсу, використовувалася «біла» IP-адреса, отримана від VPN-сервера третього провайдера.

Обчислювальна станція користувача, підключаючись до VPN-сервера в лабораторії по «білій» IP-адресі, отримує «сіру» IP-адресу комп'ютерної мережі лабораторії. Таким чином, обчислювальна станція користувача виступає в ролі дистанційно-керуючої, маючи можливість відправляти і приймати дані з мікроконтролерного обладнання.

Основні проблеми даного рішення полягають нестійкому каналі зв'язку з мережею Інтернет та коливанні часу затримки при передачі даних в залежності від завантаження прикордонних маршрутизаторів на стику провайдерів. У разі розриву з'єднання одним з провайдерів в ланцюгу з'єднання або в силу інших причин, обчислювальна станція, що виконує функції шлюзу, виконує процедуру повторного підключення до VPN-сервера третього провайдера. Цю процедуру повторює і дистанційно-керуюча обчислювальна станція. І хоча після відправки команд управління на мікроконтролерне обладнання, останнє їх виконує, то при відсутності зв'язку між учасниками віртуальної мережі, звіт про виконання команд, відповідно, перестає бути актуальним. Тому, при тривалих дистанційних роботах з мікроконтролерним обладнанням недоцільно використовувати вищевказаний підхід. Досить завантажити команди управління на локальну обчислювальну станцію лабораторії та періодично перевіряти виконання задачі спостереження за допомогою підключення до локальної обчислювальної станції лабораторії відомими способами.

У 2020 році, в зв'язку з введенням карантинних обмежень та переходом на дистанційне навчання в Україні [10] виникла необхідність віддаленого управління деякими модулями в вищеописаній лабораторії, підключеними за допомогою інтерфейсу USB до однієї з обчислювальних станцій. В основі запропонованого рішення є використання відкритого програмного продукту USB/IP. Це ПЗ дозволяє здійснювати обмін даними з USB-пристроями через локальну комп'ютерну мережу. ПЗ призначене для спільного використання USB-пристроїв між обчислювальними станціями. При повному збереженні функціоналу USB/IP трансформує «USB I/O повідомлен-

ня» в формат TCP/IP-пакетів і передає їх в комп'ютерну мережу.

Загальним в цих рішеннях є те, що для обчислювальної станції, яка виконує функції шлюзу, в комп'ютерній мережі з нестабільним низькошвидкісним зовнішнім каналом зв'язку виділяється через VPN-тунель «біла» IP-адреса. Однак це не завжди може бути можливим. Наприклад, якщо відсутня можливість підключення третього провайдера, який є постачальником «білих» IP-адрес, а є в наявності динамічно змінювана «біла» IP-адреса, то мови про надання виділеної адреси для комп'ютерної мережі підприємства може і не йти.

У цьому випадку на прикордонному вузлі, що виконує функції маршрутизатора, в комп'ютерній мережі VPN-сервера необхідно виконати перенаправлення забезпечуючих портів для того, щоб VPN-сервер був доступний для підключення з мережі Інтернет. Обчислювальна станція, що знаходиться в комп'ютерній мережі підприємства, при підключенні до такого VPN-сервера буде отримувати «сіру» IP-адресу. Для підключення до комп'ютерної мережі підприємства необхідно для отриманої «сірої» IP-адреси виконати перенаправлення портів на шлюзі підмережі VPN-сервера, які забезпечують підключення до VPN-сервера мережі підприємства.

Тепер користувач, в налаштуваннях VPN-тунелю вказує «білу» IP-адресу шлюзу. Запит на заданий порт буде переадресований по VPN-тунелю вузлу з «сірою» IP-адресою, який, в свою чергу, адресує обчислювальній станції користувача IP-адресу з підмережі підприємства. Досить задати правило маршрутизації підмережі підприємства через шлюз – і зв'язок буде встановлений.

Експериментальні дослідження. Завданням експериментального дослідження було визначення оптимального схеми використання протоколу UDP для передачі інформації по захищеному SSL-VPN-тунелю, реалізованому із застосуванням програмного забезпечення OpenVPN в умовах нестабільних каналів зв'язку та визначення порогового значення показника живучості у разі деструкції VPN-тунелів. Припустимо, що якщо основний VPN-тунель налаштований на роботу з протоколом TCP, сервер буде отримувати TCP-пакети OpenVPN, які містять інші TCP-сегменти від користувача. У результаті в ланцюзі виходить подвійна перевірка на цілісність інформації, що абсолютно не має сенсу, тому що надійність не підвищується, швидкість з'єднання знижується [11–16].

Проведено вимірювання залежності швидкості передачі команд управління на мікроконтролерне обладнання лабораторії від ймовірності втрати пакетів в мережі для протоколу UDP. У якості сценарію експерименту була використана методика [11], в основі лежить ідея тестування алгоритмів тунелювання UDP поверх UDP. Дані експерименти ставилися для всіх VPN-тунелів.

Вихідні дані: розмір пакетів, переданих на мікроконтролерне обладнання – 32050 байт; розмір пакетів, що передавалися у зворотньому напрямку – 4020 байт; співвідношення інтенсивності передачі

відправлених і прийнятих пакетів - 1/10. Експеримент проводився 01 грудня 2021 року на кафедрі Електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки.

Результати експерименту по тунелюванню «Обчислювальна станція користувача» – «Комп'ютерна мережа лабораторії» при відпрацюванні команд управління мікроконтролерному обладнанню з використанням схеми тунелювання по UDP та TCP представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати тунелювання при відправці даних

№ п/п	Ймовірність відкидання пакетів, %	Інтенсивність, пакет/с	Кількість втрачених пакетів, шт.
Схема тунелювання по UDP			
1	0	50	0
2	1	75	1
3	2	100	1
4	3	125	2
5	4	150	10
6	5	175	12
7	6	200	14
8	7	225	18
9	8	250	19
10	9	275	25
11	10	300	39
Схема тунелювання по TCP			
1	0	50	0
2	1	75	0
3	2	100	0
4	3	125	0
5	4	150	1
6	5	175	1
7	6	200	2
8	7	225	3
9	8	250	3
10	9	275	5
11	10	300	7

У табл. 2 представлені результати експерименту в разі прийому телеметричних даних з мікроконтролерного обладнання лабораторії обчислювальною станцією користувача.

Як видно з результатів проведених експериментів, використання протоколу UDP в якості основного можна вважати ефективним для прийому телеметричних даних (UDP-трафіку) по VPN-тунелям. Однак при передачі команд управління, представленої у вигляді неінтенсивного трафіку, доцільно використовувати протокол TCP поверх протоколу UDP. Це пояснюється тим, що існує велика ймовірність втрати пакетів, через відсутність механізмів адаптації до поточного стану нестабільного каналу зв'язку, а саме механізму регулювання розміру вікна. Очевидно, що протокол UDP показує більш низькі результати, ніж TCP. Механізм повторних передач, що реалізується з використанням протоколу TCP (для еластичного трафіку) дозволяє компенсувати втрачені пакети за рахунок повторних команд.

Таблиця 2 – Результати тунелювання при прийомі даних

№ п/п	Ймовірність відкидання пакетів, %	Інтенсивність, пакет/с	Кількість втрачених пакетів, шт.
Схема тунелювання по UDP			
1	0	50	1
2	1	75	5
3	2	100	8
4	3	125	18
5	4	150	30
6	5	175	49
7	6	200	55
8	7	225	58
9	8	250	62
10	9	275	68
11	10	300	71

Необхідно відзначити, що об'єднання VPN-тунелів в каскадні схеми є не ефективним для побудови великих віртуальних мережних інфраструктур. Незважаючи на те, що пропускна здатність залежить від виду топології мережі, необхідно проводити аналіз розподілу VPN-підмереж з метою підвищення надійності процесу передачі даних. Таким чином, можна зробити висновок, що аналіз загальної пропускної здатності VPN-тунелів мереж багато в чому залежить від правильної організації розподілу ресурсів системи. Це також в деякій мірі пов'язано з маршрутизацією даних і правилами призначення шлюзів для обчислювальних станцій підприємства і користувачів в якості опорних вузлів мережі – для уникнення можливих неефективних маршрутів передачі інформації, мережних петель тощо.

Висновки

В результаті проведеної роботи поставлена і успішно вирішена науково-прикладна задача розробки методу, який дозволяє забезпечити живучість комп'ютерної мережі, яка є інформаційним середовищем для гарантованого надання цифрових послуг, шляхом використання віртуальних тунелів, заснованих на принципах VPN-тунелювання. Зокрема, досягнуто такі результати:

- сформульована наукову задачу з формалізацією необхідних технічних вимог до розроблюваної комп'ютерної мережі;
- розроблено прикладне рішення забезпечення живучості комп'ютерної мережі, засноване на використанні множинних VPN-тунелів;
- проведені експерименти з дослідження ефективності використання різних мережних протоколів в VPN-тунелях;
- отримала подальший розвиток методологія забезпечення живучості комп'ютерних систем для забезпечення безперервності процесів управління мережними інфраструктурами.

Запропонований метод може бути використаний на етапах проектування комп'ютерних мереж в частині визначення показників надлишковості при реалі-

зації принципів управління елементами мережі як то сервери, шлюзи, технологічне обладнання тощо.

У якості подальшої дослідницької роботи за даним напрямом пропонується розглянути ефектив-

ність застосування багаточарових оверлейних мереж [17] у якості транспортного середовища при вирішенні задачі підвищення живучості комп'ютерних мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- Kharchenko, V., Kondratenko, Y., & Kasprzyk, J. (Eds.). (2017). *Green IT engineering: concepts, models, complex systems architectures*. Springer International Publishing.
- Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучість інформаційних систем. - К.: Наук. думка, 2011. - 256 с.
- Князева Н. А. Метод обеспечения живучести телекоммуникационной сети на основе перераспределения ресурсов сети / Н. А. Князева, И. В. Грищенко, С. В. Шестопалов // Холодильна техніка та технологія. - 2014. - № 4. - С. 65-71.
- Кучук Г.А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку / Г.А. Кучук, А.С. Свиридов, А. А. Коваленко. // Сучасні інформаційні системи. Харків: НТУ «ХП», 2018. – Том 2, № 2. – С. 139-144.
- L.D. Orda, T.V. Jensen, O. Gehrke, & H.W. Bindner (2019). "Efficient Routing for Overlay Networks in a Smart Grid Context". *Proceedings of the 8th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS 2019)*, Heraklion, Crete, Greece, 2019, pp. 251-258.
- Tkachov, V., Bondarenko, M., Ulyanov, O., & Reznichenko, O. (2019, December). Overlay Network Infrastructure for Remote Control of Radio Astronomy Observatory. In *2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)* (pp. 161-165).
- Кулаков А. Ю. Способ повышения эффективности GRID систем на базе виртуальных сетей VPN / А. Ю. Кулаков // Вісник НТУУ «ХП». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – 2007. – № 47. – С. 280–286.
- R. Wróbel, M. Andrych-Zalewska, & R. Dimitrov (2016). Diagnostic telemetry system. *Journal of KONES. Powertrain and Transport*, 23(4), pp.569-574.
- Doghonadze, N., Aliyev, A., Halawachy, H., Knodel, L., & Adedoyin, A. S. (2020). The Degree of Readiness to Total Distance Learning in the Face of COVID-19-Teachers' View (Case of Azerbaijan, Georgia, Iraq, Nigeria, UK and Ukraine). *Journal of Education in Black Sea Region*, 5(2), 2-41.
- Шейда, В. В. (2010). Использование протоколов TCP и UDP для защищенной передачи информации по SSL-VPN-туннелям. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, (1-2 (21)).
- Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. [Vol. 27, No 6. P. 59–68.](https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079)
- Nechausov A., Mamusuç I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
- Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, *Computer Communications*, Volume 154, , Pages 501-508, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079>.
- Sivaram, M., Yuvaraj, D., Mohammed, A. S., Manikandan, V., Porkodi, V., & Yuvaraj, N. (2019). Improved Enhanced Dbtma with Contention-Aware Admission Control to Improve the Network Performance in Manets. *CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA*, 60(2), pp. 435-454, DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06295>
- Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), " The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>.
- Tkachov V. Principles of Constructing an Overlay Network Based on Cellular Communication Systems for Secure Control of Intelligent Mobile Objects / Vitalii Tkachov, Andriy Kovalenko, Mykhailo Hunko and Kateryna Hvozdetzka // Информационные технологии и безопасность. Материалы XIX Международной научно-практической конференции ИТБ-2020. – К.: ООО "Инжиниринг", 2020. – С. 51-55.

Received (Надійшла) 23.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Method of ensuring the survivability of the computer network based on VPN-tunneling

Andriy Kovalenko, Heorhii Kuchuk, Vitalii Tkachov

Abstract. The article analyzes the main approaches to ensuring the survivability of computer networks. It is shown that the survivability methodology that is applied to computer systems is partially different from that used in computer networks, which is associated with the active development of virtualization technologies. The **purpose** of the article is to develop a method to ensure the survivability of a computer network, which is an information environment for guaranteed provision of digital services, by using virtual tunnels based on the principles of VPN tunneling to delegate "white" IP addresses to computer networks, or routing schemes for data flows when using internal VPN servers with a single "white" IP address. The results obtained make it possible: to formulate a scientific problem with the formalization of the necessary technical requirements for the developed computer network; develop an application solution for ensuring the survivability of a computer network based on the use of multiple VPN tunnels; conduct a series of experiments to study the effectiveness of using various network protocols in VPN tunnels; to create a basis for further development of the methodology for ensuring the survivability of computer systems to ensure the continuity of network infrastructure management processes. The studies allow us to **conclude** that the proposed method can be used at the design stages of computer networks when determining redundancy indicators when implementing the principles of managing network elements such as servers, gateways, technological equipment, etc.

Keywords: survivability, computer network, virtualization, VPN.

V. Krasnobayev, S. Koshman, D. Kovalchuk

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

SYNTHESIS OF STRUCTURE OF THE ADDER BY MODULE

Abstract. The **subject** of the article is the study of the structure of low-bit binary adders for an arbitrary modulus of the residual class system (RCS). The **purpose** of this article is to develop an algorithm for synthesizing the structure of the adder of two residuals of numbers by an arbitrary value of the RCS module, by organizing inter-bit connections between the binary digits of the adder, the combination of which determines the structure of the adder modulo. **Tasks:** to investigate the possibility of performing the operation of addition of two residuals in RCS based on positional binary adders; to analyze the influence of additionally introduced interdigit connections into the positional binary adder on the value of the contents of this adder; to develop an algorithm for the synthesis of an adder by an arbitrary RCS module. **Research methods:** methods of analysis and synthesis of computer systems, number theory, coding theory in RCS. The following **results** were obtained. It is shown in the work that the introduction of additional interdigit connections in a positional binary adder allows changing the contents of this adder. The rules for the introduction of these additional links are formulated, on the basis of which an algorithm for the synthesis of an adder by an arbitrary RCS modulus is obtained. Specific examples of the synthesis of structures of binary adders for various values of the RCS modules are given. **Conclusions.** Thus, the paper proposes an algorithm for the synthesis of an adder by an arbitrary RCS module, which is based on the use of positional binary adders, by introducing additional inter-bit connections. The application of the considered algorithm expands the functionality of positional binary adders.

Keywords: number system, residual class system, positional binary adder, modular computation, computer system.

Introduction

The operation of adding of two numbers is the main operation, which is implemented by a computer system (CS), both in a positional binary notation (PN) and in a non-positional notation of residual classes (RCS). The adder of two numbers is the main part of operating device of CS in PN. Adders of two numbers by module m_i are also elements of CS along with positional adders [1-3]. In RCS, the modular addition operation $(a_i + b_i) \bmod m_i$ is implemented on base of usage of low-bit modulo m_i adders. One of the methods for implementation of the modular addition operation $(a_i + b_i) \bmod m_i$ is based on the usage of structures of positional low-bit binary adders [4-7]. This approach provides a wide range of options for implementation of the structure of such adders. This allows to fully use available practical experience in the design and selection of structures of binary adders. The article proposes an algorithm for synthesizing the structure of an adder of two remainders of numbers by an arbitrary RCS module.

Main part

The article discusses the synthesis of an adder of two residues of numbers by an arbitrary RCS module m_i . Synthesis of modulo adder is a procedure for constructing the structure of a non-positional adder from positional binary one-bit adders (BOA). In non-positional adder by an arbitrary module m_i , an addition circuit is used, which is implemented in the structure of adder by module $M = 2^n - 1$. This is achieved by

organizing and using additional inter-bit connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$, in the general case, between the j -th and the i -th BOA of the adder module M .

An arbitrary initial structure of a n -bit binary adder by module $M = 2^n - 1$ is shown in Fig. 1.

The task of adder by module m_i synthesis is to ensure the modular addition of two residues for a given modules by means of a adder by module $M = 2^n - 1$. In this article, this is achieved by introducing into the adder by module M additional links of the form $X_{\downarrow i \uparrow j}$, where the sign $X_{\downarrow i \uparrow j}$ denotes the connection between the output of the j -th BOA and the input of the i -th BOA. A diagram of the organization of such an additional connection between the output of the j -th BOA and the input of the i -th BOA is shown in Fig. 2.

The essence of constructing adders by module RCS is as follows. In the initial adder by module $M = 2^n - 1$, on base of certain rules, additional connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$ are formed [1]. The usage of additional connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$ in the adder by module $M = 2^n - 1$ allows to synthesize an adder for performing the operation of adding the residues of numbers by module m_i , since the introduction of additional connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$ changes the weights of individual bits of the adder and reduces the module of the adder from the initial value M to the required modulus value m_i .

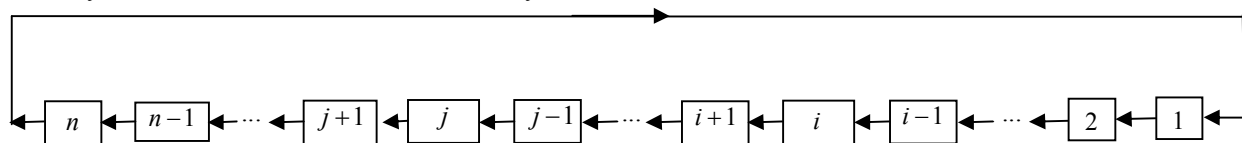


Fig. 1. The structure of a binary adder by module $M = 2^n - 1$

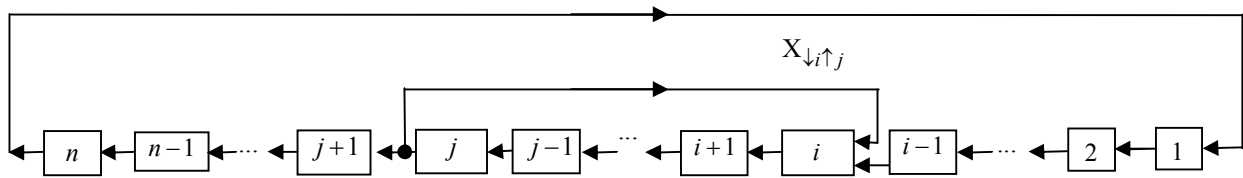


Fig. 2. Diagram of an adder by module $M = 2^n - 1$ with one additional connection $X_{\downarrow i \uparrow j}$

In the general case, the modulo adder synthesis algorithm consists of a sequence of performing the following operations.

1. Obtaining the structure of the adder by module $M = 2^n - 1$, where $n = [\log_2(m_i - 1)] + 1$.
2. Determination of the adder binary bits S_i for which equality $S_i = 0$ is true. The process of determining the condition $S_i = 0$ is based on the representation of the module in binary code.
3. Additional connection $X_{\downarrow i \uparrow j}$ begins with the most significant bit of the adder.
4. Additional connection $X_{\downarrow i \uparrow j}$ goes to the BOA input, for which $S_i = 0$.

Examples of synthesis of structures of adders by an arbitrary module

Two examples of synthesis of structures of adder are considered.

Example 1. $m_i = 53$. The stages of synthesis of an adder by module of RCS are as follows.

1. In accordance with the size of the module $m_i = 53$, the number n of BOA of adder by module $M = 2^n - 1$ is determined. For module $m_i = 53$ there is

$n = [\log_2(m_i - 1)] + 1 = [\log_2(53 - 1)] + 1 = 6$. The structure of adder by module $M = 2^n - 1 = 63$ will be the following (Fig. 3).

Initial structure of adder by module $m_i = 53$ without additional connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$ will be the same.

2. Module $m_i = 53$ in binary code $S_6 S_5 S_4 S_3 S_2 S_1$ is 110101, which means $S_6 = 1$, $S_5 = 1$, $S_4 = 0$, $S_3 = 1$, $S_2 = 0$ and $S_1 = 1$. From the form of the module $m_i = 53$ which is represented in the binary code, $S_2 = S_4 = 0$ is determined.

3. Based on the obtained results, the structure of the adder by module $m_i = 53$ is represented in the following form.

In accordance with the synthesis method, two additional connections $X_{\downarrow 4 \uparrow 6}$ and $X_{\downarrow 2 \uparrow 6}$ are introduced into the adder by module $M = 2^6 - 1$. In order to check the correctness of the synthesis of the adder by module $m_i = 53$, the value of the RCS module $M = m_i$ for a given adder structure is determined. Based on the given structure of the adder (Fig. 4), a number of structures of individual parts of the adder by module $m_i = 53$ is composed.

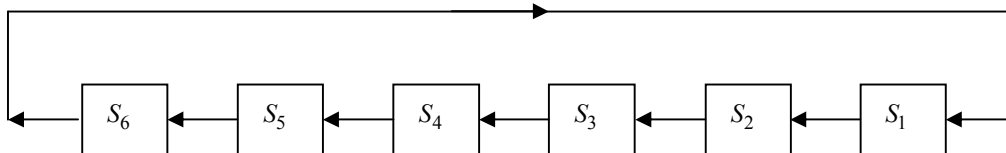


Fig. 3. Initial structure of adder by module $M = 2^6 - 1$

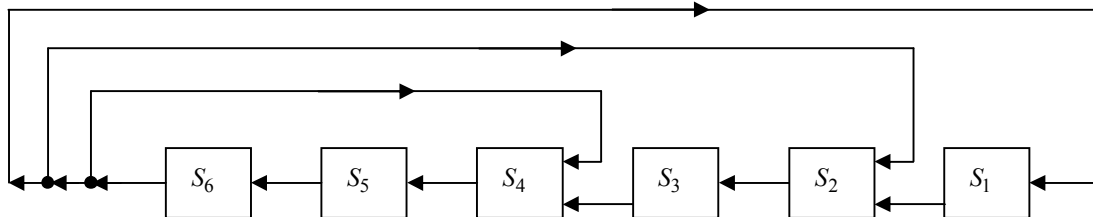


Fig. 4. Structure of adder by modulo $m_i = 53$

The first part of adder structure is shown on Fig. 5.

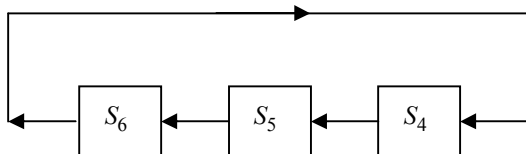


Fig. 5. First part of structure of adder by module m_i

For the first part of adder structure module M_1

will be the following $M_1 = \tau_3 \cdot \tau_5 \cdot \tau_4 - 1$. The second part of adder structure is shown on Fig. 6.

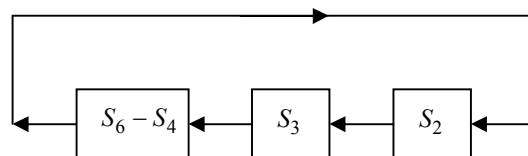


Fig. 6. Second part of structure of adder by module m_i

For this part of adder structure module M_2 :

$$M_2 = M_1 \cdot \tau_3 \cdot \tau_2 - 1 = (\tau_6 \cdot \tau_5 \cdot \tau_4 - 1) \cdot \tau_3 \cdot \tau_2 - 1.$$

For adder by module the value of module $M = m_i$ of RCS will be determined as follows (fig. 4-6)

$$m_i = M_2 \cdot \tau_1 - 1 = [(\tau_6 \cdot \tau_5 \cdot \tau_4 - 1) \cdot \tau_3 \cdot \tau_2 - 1] \cdot \tau_1 - 1 = [(2^3 - 1) \cdot 2^2 - 1] \cdot 2 - 1 = 53.$$

Based on the performed calculations, there is the conclusion that the synthesis of the adder by module $m_i = 53$ (fig. 4) was carried out correctly.

Example 2. $m_i = 97$. The stages of synthesis of an adder by module of RCS are as follows.

1. In accordance with the size of the module $m_i = 97$, the number n of BOA of adder by module $M = 2^n - 1$ is determined. For module $m_i = 97$ there is

$$n = \lceil \log_2 (m_i - 1) \rceil + 1 = \lceil \log_2 (97 - 1) \rceil + 1 = 7.$$

The structure of adder by module $M = 2^n - 1 = 2^7 - 1 = 127$ will be the following (Fig. 7).

2. Module $m_i = 97$ in binary code $S_7 S_6 S_5 S_4 S_3 S_2 S_1$ is 1100001, which means $S_7 = 1, S_6 = 1, S_5 = S_4 = S_3 = S_2 = 0, S_1 = 1$.

3. Based on the obtained results, the structure of the adder by module $m_i = 97$ is represented by Fig. 8. In accordance with the synthesis method, four additional connections $X_{\downarrow 5 \uparrow 7}, X_{\downarrow 4 \uparrow 7}, X_{\downarrow 3 \uparrow 7}, X_{\downarrow 2 \uparrow 7}$ are introduced into the adder by module $M = 2^7 - 1$. In order to check the correctness of the synthesis of the adder by module $m_i = 97$, the value of the RCS module $M = m_i$ for a given adder structure is determined.

The first part of adder structure is shown on Fig. 9.

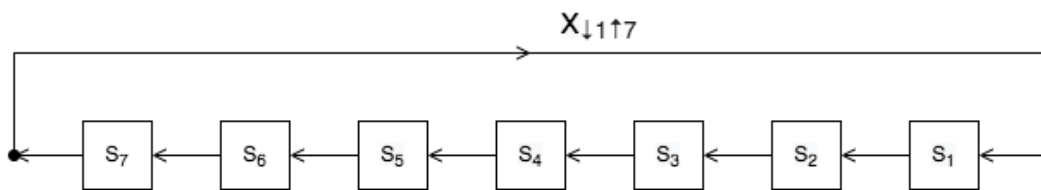


Fig. 7. Initial structure of adder by module $M = 2^7 - 1$

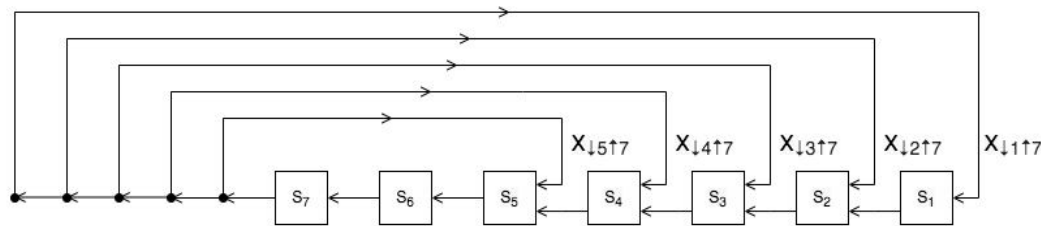


Fig. 8. Structure of adder by modulo $m_i = 97$

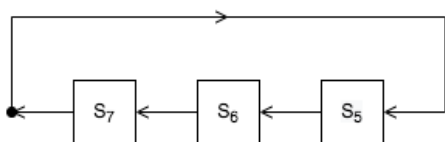


Fig. 9. First part of structure of adder by module m_i

For the first part of adder structure module M_1 will be the following $M_1 = \tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1$. The second part of adder structure is shown on Fig. 10.

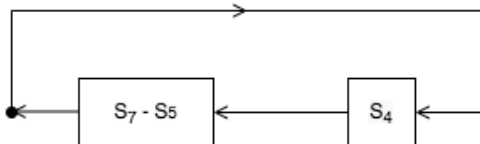


Fig. 10. Second part of structure of adder by module m_i

For the first part of adder structure module M_2 will be the following $M_2 = M_1 \cdot \tau_4 - 1$. The third part of adder structure is shown on Fig. 11. For the first part of adder structure module M_3 will be the following $M_3 = M_2 \cdot \tau_3 - 1$. The fourth part of adder structure is shown on Fig. 12.

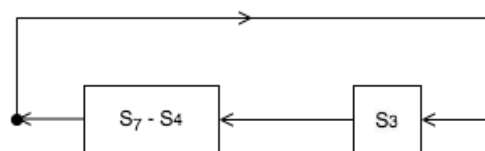


Fig. 11. Third part of structure of adder by module m_i

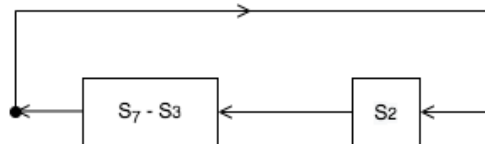


Fig. 12. Fourth part of structure of adder by module m_i

For the first part of adder structure module M_4 will be the following $M_4 = M_3 \cdot \tau_2 - 1$. The fifth part of adder structure is shown on Fig. 13.

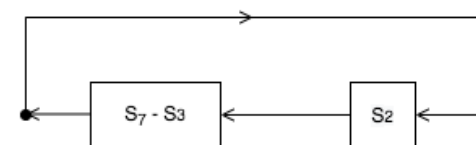


Fig. 13. Fifth part of structure of adder by module m_i

For the first part of adder structure module M_5 will be the following $M_5 = M_4 \cdot \tau_1 - 1$.

The value of module m_i :

Fig. 9: $M_1 = \tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1$;

Fig. 10: $M_2 = M_1 \cdot \tau_4 - 1 = (\tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1) \cdot \tau_4 - 1$;

Fig. 11: $M_3 = M_2 \cdot \tau_3 - 1 = [(\tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1) \tau_4 - 1] \tau_3 - 1$;

Fig. 12: $M_4 = M_3 \cdot \tau_2 - 1 = \{[(\tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1) \cdot \tau_4 - 1] \cdot \tau_3 - 1\} \cdot \tau_2 - 1$;

Fig. 13: $M_5 = M_4 \cdot \tau_1 - 1 = -1 + \times \{[(\tau_7 \cdot \tau_6 \cdot \tau_5 - 1) \cdot \tau_4 - 1] \cdot \tau_3 - 1\} \cdot \tau_2 - 1$.

In this case, the result of the synthesis of the adder by module $m_i = 97$ (fig. 8) is correct.

The given examples of the synthesis of the structure of adders by module of RCS confirm the possibility of practical usage of the algorithm which is considered in the article.

Conclusions

The article considers an algorithm for synthesizing the structure of adders by module m_i of RCS. The algorithm for the synthesis of adders is based on the usage of existing adders by modules $M = 2^n - 1$, which are widely used in CS, operating both in the PN and in the RCS.

The article directly provides an algorithm for the synthesis of an adder by module m_i . The algorithm is implemented by introducing and using additional inter-bit connections $X_{\downarrow i \uparrow j}$. The article formulates the rules for introducing these additional connections. The usage of additional connections (based on the structure of adder by module $M = 2^n - 1$) allows to create an adder that implements the operation of adding two residues a_i and b_i of numbers. A set of k adders by module is an adder of two numbers $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_k)$ and $B = (b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_k)$ in RCS. Specific examples of the synthesis of adders by module for various values of the RCS modules m_i are given.

REFERENCES

1. Bayoumi M.A., Jullien G.A., Miller W.C. A VLSI Implementation of Residue. Adders *IEEE Trans. on Circuits and Systems*. 1987. V. 34, № 3. P. 284-288.
2. Chervyakov N. I. Use of modular coding for high-speed digital filter design // *Cybernetics and Systems Analysis*. 1998. T. 34, №. 2. C. 254-260.
3. Krasnobayev V. A., Kuznetsov A. A., Koshman S. A., and Kuznetsova K. O. "A method for implementing the operation of modulo addition of the residues of two numbers in the residue number system", *Cybernetics and Systems Analysis*, Vol. 56, No. 6, November, 2020, 1029-1038. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00323-9>.
4. Krasnobayev V. A. and Koshman S. A. Method for implementing the arithmetic operation of addition in residue number system based on the use of the principle of circular shift // *Cybernetics and Systems Analysis*. – July, 2019. – Volume 55, Issue 4, pp. 692-698.
5. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
6. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), "Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering", *ICTACT Journal on Soft Computing*, Vol. 9, Issue 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: 10.21917/ijsc.2018.0252
7. Tariq Jamil. *Complex Binary Number System. Algorithms and Circuits*. India: Springer, 2013. 83 p.

Received (Надійшла) 04.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2021

Синтез структури суматора за модулем

В. А. Краснобаєв, С. О. Кошман, Д. М. Ковальчук

Анотація. Предметом статті є дослідження структури малорозрядних двійкових суматорів за довільним модулем системи залишкових класів (СЗК). **Метою** даної статті є розробка алгоритму синтезу структури суматора двох залишків чисел за довільним значенням модуля СЗК, шляхом організації міжрозрядних зв'язків між двійковими розрядами суматора, комбінація яких визначає структуру суматора за модулем. **Задачі:** дослідити можливість виконання операції додавання двох залишків у СЗК на базі позиційних двійкових суматорів; провести аналіз впливу додатково введених міжрозрядних зв'язків у позиційний двійковий суматор, на величину вмісту цього суматора; розробити алгоритм синтезу суматора за довільним модулем СЗК. **Методи** дослідження: методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем, теорія чисел, теорія кодування у СЗК. **Отримані наступні результати.** В роботі показано, що введення додаткових міжрозрядних зв'язків у позиційний двійковий суматор, дозволяє змінити вміст даного суматора. Сформульовано правила введення цих додаткових зв'язків, на основі чого отримано алгоритм синтезу суматора за довільним модулем СЗК. Наведено конкретні приклади синтезу структур двійкових суматорів для різних значень модулів СЗК. **Висновки.** Таким чином, у роботі запропоновано алгоритм синтезу суматора за довільним модулем СЗК, який заснований на використанні позиційних двійкових суматорів, шляхом введення додаткових міжрозрядних зв'язків. Застосування розглянутого алгоритму розширює функціональні можливості позиційних двійкових суматорів.

Ключові слова: система числення, система залишкових класів, позиційний двійковий суматор, модульні обчислення, комп'ютерна система.

М. В. Підгорний¹, С. М. Веретюк²

¹ Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

² Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сік орського", Київ, Україна

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Анотація. Метою роботи є застосування системного підходу як методології побудови інформаційно-комунікаційних технологій у базисах системних властивостей, системних ресурсів та структурах життєвих циклів інформаційних технологій. В статті розглянуто реалізацію системного підходу до управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології яка містить у собі два основних етапи: етап зовнішній й етап внутрішній. Життєвий цикл інформаційно-комунікаційної технології розглядається як цільова структура етапів перетворення інформаційно-комунікаційної технології. Подано види забезпечень інформаційно-комунікаційної технології з урахуванням багатоаспектності задач, що вирішуються в умовах її функціонування. **Висновок.** Даний підхід при більш детальному дослідженні в подальшому дасть можливість підвищити ефективність розробки всіх видів забезпечення для ефективності управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології з урахуванням багатоаспектності вирішуваних задач в умовах функціонування.

Ключові слова: системний підхід, життєвий цикл, інформаційно-комунікаційна технологія.

Вступ

Постановка проблеми. З точки зору до застосування інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) системний підхід – це методологія побудови інформаційно-комунікаційних технологій як цілеспрямованих систем у базисах системних властивостей, системних ресурсів та структурах життєвих циклів інформаційних технологій. На сьогодні системний підхід розвинутий стосовно до інформаційно-комунікаційних технологій, що характеризуються складністю задач, що розв'язуються і необхідністю розгляду проблеми в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки з'явилась значна кількість публікацій присвячених концепції системного аналізу основою якого є системний підхід, тобто методологія вирішення складних проблем [1]. Важливе значення при створенні інформаційно-комунікаційних технологій має кількісна оцінка різних властивостей, характеристик і факторів, тому на побудові математичних моделей ґрунтується весь системний аналіз [2-5]. Технічною основою реалізації системного аналізу є комп'ютерна техніка та інформаційні системи. Виникають принципово нові задачі управління ЖЦ інформаційно-комунікаційних технологій, які можна й варто розв'язувати новими системними методами (в тому числі за допомогою системного підходу). У задачах системного підходу будь-який об'єкт (інформаційно-комунікаційна технологія) розглядається не як неподільне ціле, а як система взаємопов'язаних складових частин (елементів), їх властивостей та якостей [2].

Метою роботи є застосування системного підходу як методології побудови інформаційно-комунікаційних технологій у базисах системних властивостей, системних ресурсів та структурах життєвих циклів інформаційних технологій.

Основний матеріал

На сьогодні системний підхід розвинутий стосовно до інформаційно-комунікаційних технологій, що

характеризуються складністю задач, що розв'язуються і необхідністю розгляду проблеми в цілому.

У будь-якій інформаційно-комунікаційній технології існує два основних і різноманітних по ролі процеси: основний процес, зворотній зв'язок, а також вхід, вихід і обмеження.

Поняття процесу є центральним поняттям системного підходу в рішенні проблеми, що є різницю між існуючою і бажаною інформаційно-комунікаційною технологією.

Основне застосування системного підходу укладено не стільки у формальному математичному апараті, що описує "інформаційно-комунікаційну технологію", "рішення проблеми" і не в спеціальних математичних методах, а в його концептуальному, тобто понятійному апараті, у його ідеях, підході.

Життєвий цикл інформаційно-комунікаційної технології — цільова структура етапів перетворення ІКТ, що об'єднує чотири основні етапи: наукове дослідження, проектування, створення та програмування експлуатацію як логіко-інформаційної основи інтеграції інформаційної технології: від формування ідеї, дослідження інформаційних технологій, створення інформаційно-телекомунікаційної технології, експлуатації, зняття з експлуатації (рис. 1).

Можливо було б розглядати багато різноманітних проблем із різних сфер діяльності; зупинимось на одній із науково-технічних <підвищення ефективності процесів та якості результатів>.

Системний підхід до управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології як складної системи містить у собі два основних етапи: етап зовнішній й етап внутрішній.

Перший етап включає вибір функцій, структуру інформаційно-комунікаційної технології і її складу, а також визначення системних характеристик і принципів функціонування підсистем, причому, основними питаннями першого етапу є:

- розробка системи критеріїв (якості функціонування й оцінки варіантів інформаційно-комунікаційної технології);

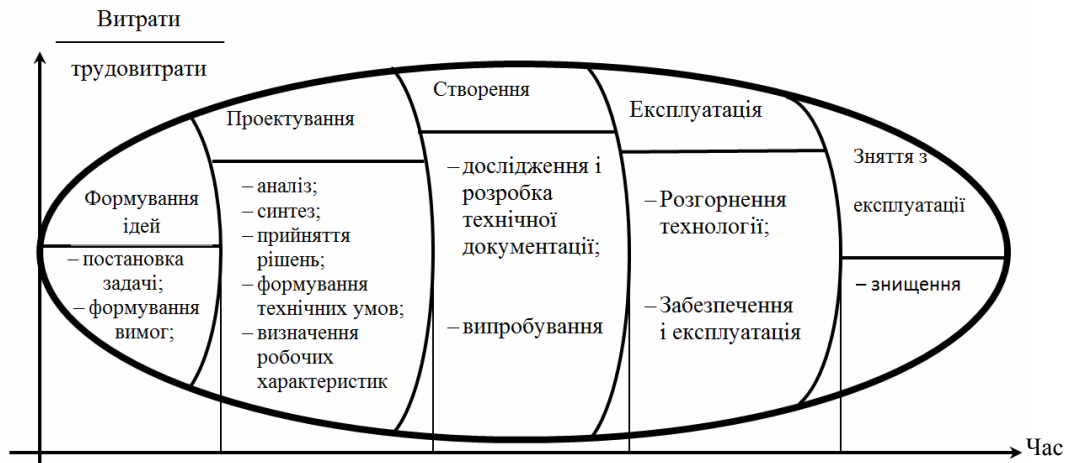


Рис. 1. Етапи «життєвого» циклу інформаційної технології

- побудова архітектури (складу) інформаційно-комунікаційної технології;
- дослідження реалізованих алгоритмів керування для прийнятої системи критеріїв;
- формалізація процесів функціонування інформаційно-комунікаційної технології;
- розробка математичної моделі інформаційно-комунікаційної технології;
- синтез і дослідження оптимальних режимів функціонування інформаційно-комунікаційної технології.

Другий етап виключає вибір і проектування компонентів інформаційно-комунікаційної технології, тобто її підсистем і агрегатів. Основна задача другого етапу полягає в розробці проектних рішень, пов'язаних із технічною реалізацією інформаційно-комунікаційної технології, оптимізацією характеристик, параметрів інформаційно-комунікаційної технології, на основі прийнятої математичної моделі, що задовольняє критеріям якості.

При застосуванні логіко-дедуктивного методу описаного в [1, 2] проектування інформаційно-комунікаційної технології розглядається як деякий процес послідовної побудови проектних рішень $R_i \in R$, в якому із рішення R_k попередньої задачі S_k формується обмеження C_{k+1} , або початкова інформація A_{k+1} у процедурі розв'язання T_{k+1} наступного етапу.

У дедуктивному методі кожне з проміжних рішень R_k задачі S_k є розгалуженим деревом варіантів відносно задач $S_l, l > k$, що розв'язуються на наступному етапі.

Еволюційно інформаційно-комунікаційної технології аналогічну системі [6] можна виразити наступним чином:

$$\Sigma = \left(\begin{array}{l} E, (\omega_\alpha)_{\alpha \in A}, (Z_\tau(s))_{\tau \in T, s \in S}, (f_{e\alpha\tau})_{\substack{e \in E, \\ \alpha \in A, \tau \in T}}, \\ (\chi_{\alpha\tau})_{\alpha \in A, \tau \in T}, (J_{\alpha\tau})_{\alpha \in A, \tau \in T}, \chi, J \end{array} \right),$$

де E – множина елементів; (ω_α) – сімейство структур, що реалізуються в Σ ; $(Z_\tau(s))$ – сімейство просторів сигналів; $(f_{e\alpha\tau})$ – сімейство операторів елементів системи E ; $\chi_{\alpha\tau}, \chi$ – простори цілей; $J_{\alpha\tau}, J$ – цільові функції.

В подальшому ЖЦ інформаційно-комунікаційної технології виконується по схемі системного підходу (структуризація, формалізація, цілеорієнтація) з метою одержання результатів відповідно до переліку математичних моделей будови, функціонування та еволюції.

Інформаційно-комунікаційної технології визначаються етапами технології системних досліджень, а саме, розв'язок задач:

- синтезу (системної оптимізації);
- аналізу (системного моделювання);
- та прийняття рішень (вибору варіантів).

Синтез (Системна оптимізація). В основі синтезу лежить схема оптимізаційної процедури, яка може розглядатися в системному плані по В.М. Глушкову [7].

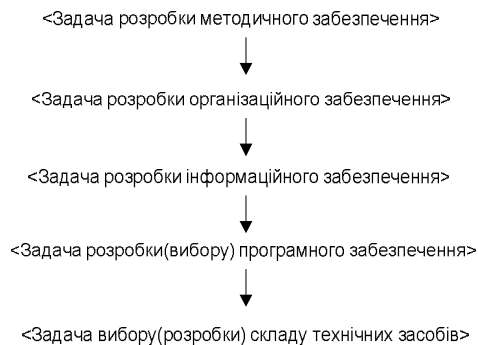
Аналіз (Системне моделювання). Реалізація методології системного підходу дає можливість розв'язати нові та представити модельовані процеси у вигляді деякої сукупності моделей:

- «частина - ціле», тобто морфологічна структура, що відображає властивості будови інформаційної технології;
- Функціонування – модель динаміки, що відображає властивості (стійкість, оптимальність, надійність і т.д.) функціонування процесу досягнення цілей;
- Витрати ресурсів – модель ресурсної динаміки (процесів використання – експлуатації);
- Модель розвитку (адаптація, пристосування, самоорганізація, функціонування з використанням усіх видів змін, спрямованих на підтримку працездатності (значень величин, параметрів структури, функції, мети і т.п.).

Прийняття рішень. Завершується інформаційно-комунікаційна технологія вибором варіанту на базі процедур прийняття рішення.

Види забезпечень та задачі їх розробки. Комплекс засобів підтримки інформаційно-комунікаційної технології складається із сукупності засобів методичного, організаційного, інформаційного, програмного й технічного забезпечень у відповідності до [2]. Різні види забезпечень інформаційно-комунікаційної технології взаємозв'язані і задачу багатопланової оптимізації можна звести до одно-

планової за рахунок їх ранжування та впорядкування, а також взаємопов'язаного відображення. Застосовуючи системну модель до різних видів забезпечень інформаційно-комунікаційну технологію, можна упорядкувати задачі в таку логічну послідовність:



Формальна постановка задач вибору забезпечень є підґрунтям для автоматизації процесу. Вважається, що задано таке:

1. Архітектура виду забезпечення, що є система $\Sigma = (A, \omega)$, де ω – структура виду, що характеризується парою $(\varphi, \psi) \in \omega$, $\varphi: A \rightarrow B(N)$, $\psi: A \rightarrow B(N)$.

Позначимо:

$U = \bigcup_{\alpha \in A} \varphi(\alpha) / \bigcup_{\alpha \in A} \psi(\alpha)$ – вхід системи (інформаційно-комунікаційної технології);

$S = \bigcup_{\alpha \in A} \varphi(\alpha) \cup \bigcup_{\alpha \in A} \psi(\alpha)$ – множина зв'язків (інформаційно-комунікаційної технології);

$W = \bigcup_{\alpha \in A} \psi(\alpha) / \bigcup_{\alpha \in A} \varphi(\alpha)$ – вихід системи (інформаційно-комунікаційної технології), причому $V = S / (U \cup W)$. Будемо також вважати, що $W = (\omega_0)$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: у 2 книгах. Книга 1. / За ред. В.І. Бикова. – К.: Либідь, 2000. – Основи САПР та системного проектування складних об'єктів – 272 с.
2. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Підручник: у 2 книгах. Книга 2: Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки – 288 с.
3. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
4. А. А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 180-184.
5. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
6. Тимченко А.А. Эволюционное определение сложной системы. Вісник ЧІПІ.-№1 – Черкаси:2000. – с.105-110.
7. Глушков В.М. О системной оптимизации //Кибернетика – 1980. - №5. – С.89-90.

Received (Надійшла) 12.11.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

System approach to management of the life cycle information and communication technologies

M. Pidgorny, S. Veretyuk

Abstract. The aim of the work is to use a systems approach as a methodology for building information and communication technologies in the bases of system properties, system resources and structures of information technology life cycles. The article discusses the implementation of a systematic approach to managing the life cycle of information and communication technology, which includes two main stages: the external stage and the internal stage. The life cycle of information and communication technology is considered like a target structure of the stages of transformation of information and communication technology. The types of information and communication technology provision are presented, taking into account the multidimensionality of the tasks solved in the conditions of its functioning. Conclusion. This approach in a more detailed study in the future will increase the efficiency of development of all types of software for effective management of the life cycle of information and communication technology, taking into account the multifaceted nature of the tasks under operating conditions.

Keywords: systems approach, life cycle, information and communication technology.

А. І. Поворознюк, О. А. Поворознюк, Х. Шехна

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОГО ДІАГНОСТИЧНОГО ВИРІШАЛЬНОГО ПРАВИЛА В МЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Анотація. Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі побудови системи підтримки прийняття рішень на основі реалізації розробленої моделі діагностичного вирішального правила засобами сучасних інформаційних технологій, використання яких дозволило забезпечити працездатність розробленої системи на різних апаратних платформах під управлінням різних операційних систем. На основі аналізу методів, які використовуються для побудови вирішальних правил в системах підтримки прийняття рішень, запропоновані складові комбінованого вирішального правила, що виражають два підходи до формулювання діагностичного висновку: об'єктивна, яка заснована на аналізі навчальної вибірки, і суб'єктивна, яка заснована на експертній інформації про структуру симптомокомплексів. **Мета дослідження** – синтез комбінованого вирішального правила на основі методу порівняння з прототипом, яке б дозволило врахувати як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу. **Результати.** В роботі розроблена математична модель комбінованого діагностичного вирішального правила і обґрунтовано вибір його складових. В якості об'єктивної складової вибрано метод порівняння з прототипом, в якому діагностуємі стани представляються їхніми прототипами в просторі ознак. Формалізована експертна інформація про структуру симптомокомплексів шляхом представлення симптомом комплексів захворювань числовими інтервалами лінгвістичних змінних. Розглянуті варіанти врахування експертних оцінок щодо структури симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів. Сформульовані вимоги до функціональних можливостей системи, визначено засоби проектування, основну платформу розробки (Java), систему управління базою даних (MySQL). Виконано проектування системи підтримки прийняття рішень та комплексна перевірка розробленої системи на реальних медичних даних, яка підтвердила ефективність роботи системи.

Ключові слова: медична діагностика, вирішальне правило, метод порівняння з прототипом, симптомокомплекс, експертна інформація, система підтримки прийняття рішень.

Вступ

Активний розвиток високотехнологічного суспільства сприяє впровадженню науково-технічних розробок в таку важливу, проте мало формалізовану сферу діяльності, як медицина, завдяки чому бурхливого розвитку набуває напрям біомедичної інженерії, який охоплює різноманітні галузі: біомеханіка; розробка нових біоматеріалів, біосенсорів, інструментів та приладів; реабілітаційна інженерія; медичний та біологічний аналіз та інші.

На сьогодні нараховується сім рівнів медичних інформаційних систем (МІС) [1-3]: від електронних амбулаторних карт до інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень з синергетичними базами даних, методами штучного інтелекту та можливостями телемедицини [4]. Переважна більшість цих систем спрямована на автоматизацію проведення первинних обстежень в різних предметних галузях медицини, що пов'язані з виявленням та фіксацією діагностичних ознак, обробкою біомедичних сигналів та зображень. Не зважаючи на широке розмаїття існуючих МІС та складність задач, що ними вирішуються, однією з актуальних невіршених оптимізаційних задач залишається синтез діагностичного вирішального правила, яке б забезпечило достовірність та обґрунтованість поставленого діагнозу.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Традиційна первинна діагностика заснована на систематичному огляді пацієнта, аналізі анамнезу, скарг та об'єктивних ознак захворювання, що були виявлені при фізичному дослідженні – огляді, перкусії та ін. а також за допомогою лабораторно-інструментальних досліджень. На інтуїтивному рівні практикуючий лікар використовує наступну логіку постановки діагнозу, яка відповідає принципам доказової медицини.

Виявленні ознаки (симптоми) захворювання лікар об'єднує в синдроми (сукупність симптомів, що мають спільний патогенез), на основі яких робиться остаточний висновок про можливе захворювання.

Діагноз (грец. *Διαγνώσις* - розпізнавання, визначення) – це медичний висновок про функціонально-морфологічний стан здоров'я людини, про наявні хвороби або травми, про зміни нормального функціонування органів або систем, а потім і організму взагалі, або ж про причини, які привели до смерті, тобто висновок, виражений в термінах, передбачених прийнятими класифікаціями та номенклатурою захворювань. При постановці діагнозу лікарем, умовно виділяються типові етапи процесу формування діагнозу [5]: 1) виявлення відхилень від норми в показниках стану організму; 2) тлумачення відхилень і їх значимість (фізіологічний або патологічний характер, можливий зв'язок з певною нозологічною формою); 3) формування попереднього діагностичного висновку; 4) підтвердження діагнозу, тобто встановлення остаточного діагнозу (в іншому випадку процес діагностики поновлюється, починаючи з першого, другого або третього етапу). При цьому важливу роль відіграє кваліфікація та досвід лікаря.

В МІС різних рівнів постановка комп'ютерного діагнозу в формалізованому виді представляється в класичній постановці задачею класифікації, в якій моделлю об'єкта діагностики (ОД) є "чорна шухляда", і шукається залежність між формалізованими станами ОД Y і вектором вхідних ознак X , тобто $Y = f(X)$ [1]. Вказана залежність визначається на етапі навчання при аналізі навчальної вибірки, елементами якої виступають пацієнти з підтвердженим діагнозом. При цьому репрезентативність вибірки не завжди можна досягти в існуючих медичних базах даних, особливо при діагностиці рідкісних захворювань. Крім того, практикуючі лікарі з недовірою

відносяться до результатів комп'ютерного діагнозу та зазнають труднощів при інтерпретації результатів діагностики. Тому перспективним напрямком дослідження є розробка методу постановки діагнозу – синтез діагностичного вирішального правила (ВП), який об'єднує вказані підходи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час є широкий спектр комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень (СППР) в різних предметних областях медицини [2, 3], в яких використовуються такі математичні методи підтримки прийняття рішень: детерміністичні методи [6]; імовірнісні методи [7]; методи, засновані на теорії розпізнавання образів [8]; методи, засновані на нечіткій логіці [9]; логіко-лінгвістичні методи [8]; методи на основі штучних нейронних мереж [10] та ін. Розглянемо більш детально найбільш вживані методи.

Детерміністичні методи. Застосовуються у випадках наявності детермінованих зв'язків між ознаками і формалізованими станами об'єктів, як правило на етапі попередньої класифікації. Детерміністичні методи і методи нечіткої логіки застосовуються для формалізації експертних оцінок щодо структури симптомокомплексів.

Імовірнісні (статистичні) методи. Ці методи засновані на використанні апарата математичної статистики [11]. Вони найчастіше застосовуються у випадках, коли відомі ймовірнісні характеристики класів або коли вони можуть бути визначені за наявною навчальною вибіркою, що звужує область їхнього застосування.

Методи, засновані на теорії розпізнавання образів. У даній групі методів результати вимірювання характеристик об'єктів представляються точками в просторі діагностичних ознак. При цьому різні класи повинні утворювати компактні множини в просторі ознак. Діагностика нового об'єкта зводиться до обчислення міри близькості до кожного класу. До даної групи методів належить *метод порівняння з прототипом (еталоном)*, який найчастіше використовується при аналізі числових ознак, в випадку, коли класи Ω_m ($m = \overline{1, M}$) утворюють компактні множини об'єктів, що мають сферичну форму в просторі ознак. В роботі використовується цей метод в якості об'єктивної складової ВП.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є синтез вирішального правила на основі методу порівняння з прототипом, яке б дозволило врахувати як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу.

Результати досліджень

Розглянемо формальну модель комбінованого вирішального правила. Проаналізуємо особливості використання методу порівняння з прототипом. Як було відмічено раніше, в методі передбачається, що діагностуємі класи утворюють компактні множини об'єктів, що мають сферичну форму в просторі ознак. У цьому випадку кожний із класів Ω_m ($m = \overline{1, M}$) описується прототипом або еталоном $\omega^{m\bar{e}}$, у якості якого вибирається геометричний центр угруповання класу. При реалізації методу розрізня-

ють два етапи: етап навчання, та етап класифікації. На етапі навчання обчислюються координати прототипу кожного класу по формулі

$$x_i^{m\bar{a}} = \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_i^j, \quad i = \overline{1, p}, \quad m = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де $x_i^{m\bar{a}}$ – i -та координата еталонного об'єкта класу m ; n_m – кількість об'єктів класу m в навчальній вибірці; x_i^j – i -та координата j -го об'єкта класу m в навчальній вибірці; p – розмір координатного простору (кількість діагностичних ознак); M – кількість класів, на які виконується класифікація невідомого об'єкта (кількість діагностуємих станів в даній предметній області медицини);

На етапі класифікації (постановка діагнозу) обчислюються відстані $R(\omega, \omega^{m\bar{y}})$ від точки класифікуємого об'єкта ω в просторі ознак до кожного еталону $\omega^{m\bar{y}}$ класу m по формулі (в даному випадку наведена евклідова відстань, яка зазвичай застосовується до чисельних даних)

$$R(\omega, \omega^{m\bar{a}}) = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left(x_i^\omega - x_i^{m\bar{a}} \right)^2}, \quad m = \overline{1, M}, \quad (2)$$

де $x_i^{m\bar{a}}$ – i -та координата еталонного об'єкта класу m ; x_i^ω – i -та координата класифікуємого об'єкта; p – розмір координатного простору (кількість діагностичних ознак); M – кількість класів, на які виконується класифікація. Невідомий об'єкт ω належить до класу $\omega^{\bar{t}}$, відстань до прототипу якого $R(\omega, \omega^{\bar{t}})$ буде мінімальною:

$$R(\omega, \omega^{\bar{t}}) = \min_{m=\overline{1, M}} R(\omega, \omega^{m\bar{y}}), \quad (3)$$

де $R(\omega, \omega^{m\bar{y}})$ – відстань між об'єктом ω та еталоном $\omega^{m\bar{y}}$ класу ω^m , яка обчислюється по формулі (2).

Застосування методу порівняння з прототипом для задач медичної діагностики має ряд обмежень:

- в медичній діагностиці використовується система різномірних ознак (числові, рангові та бінарні), а реалізація методу вимагає використання числових ознак, тому систему різномірних ознак необхідно привести до єдиної шкали;

- метод ефективно працює, коли класи об'єктів утворюють компактні множини об'єктів сферичної форми в просторі ознак, що не завжди має місце в медичних БД;

- точність обчислення координат еталонного об'єкта кожного класу залежить не тільки від точності вимірювання ознак, але і від кількості об'єктів навчальної вибірки в кожному класі (чим менше об'єктів, тим вище дисперсія оцінки математичного очікування), тому невизначеність координат еталонного об'єкта може привести до неправильної класифікації.

- даний метод не враховує структуру симптомокомплексів, що визиває недовіру до його результатів з боку лікарів-практиків.

Тому в роботі при розробці комбінованого ВП виконується модифікація методу для подолання наведених обмежень.

Врахування експертної інформації щодо структури симптомокомплексу. Інформацію про симптоми захворювань у неформалізованому виді можна знайти в різних медичних довідниках [12], відомості яких можна вважати експертною оцінкою захворювання, виробленої багатьма поколіннями лікарів. Розрізняють наступні типи симптомів, що формують симптомокомплекс: *патогномонічні* (однозначно свідчать про наявність заданого захворювання), *специфічні* (присутні при заданому захворюванні, але не вказують однозначно на його наявність), *неспецифічні* (можуть бути присутнім при заданому захворюванні).

Структура симптомокомплексу є вираженням поглядів експертів щодо конкретного діагнозу, причому вплив кожної ознаки розглядається в термінах деякої лінгвістичної змінної, що описує розглянуту ознаку (наприклад, “висока температура” або “підвищений артеріальний тиск”).

Крім того, кожній з ознак x_j виставляється експертна оцінка, що виражає її вагу симптомокомплексу. Ці оцінки приймають значення e_0, e_1, e_2, e_3 , де e_0 – вага патогномонічних симптомів; e_1 – вага специфічних симптомів; e_2 – вага неспецифічних симптомів; e_3 – вага показників, що не входять у симптомокомплекс даного захворювання. При цьому:

$$e_0 \geq e_1 \geq e_2 \geq e_3; \quad \sum_{i=1}^3 e_i = 1. \quad (4)$$

Розглянемо врахування експертних оцінок щодо структури симптомокомплексу при обчисленні координат еталонів класів. Лікарі-фахівці частіше за все оперують поняттями норми того чи іншого показника, що виражається у розбитті динамічного діапазону ознаки на три інтервали: “нижче норми”, “норма”, “вище норми”. Таким чином, симптомокомплекс кожного захворювання (еталон кожного класу) описується множиною діагностичних ознак x_j , кожна з яких приймає одне з наведених вище значень лінгвістичної змінної. Аналогічним чином задаються бінарні ознаки, для яких лінгвістичними змінами є два терми: «ознака присутня» чи «ознака відсутня».

Представлення симптомокомплексу прототипу лінгвістичними змінами є експертною оцінкою прототипу. Якщо відомі значення динамічних діапазонів всіх ознак, а також граничні значення «норми», то центри цих діапазонів і є числовим вираженням еталона класу ω^{ml} , який одержано не по навчальній вибірці, а по експертній оцінці симптомокомплексу.

В остаточному підсумку, різні підходи (підхід на основі навчальної вибірки, і підхід на основі експертної оцінки симптомокомплексу) призначені для рішення однієї й тієї ж задачі класифікації. Будучи отриманими з різних передумов (статистика й думка експерта), вони описують загальну проблему з різних позицій. Природним є припущення, що їхнє спільне використання перспективно, тому можуть бути запропоновані такі варіанти спільного використання:

1. Колектив ВП. Метод проілюстрований рис. 1.

Симптомокомплекс X аналізується за допомогою кожного із ВП, яким заданий ступінь довіри ω . Блок логічного виводу формулює остаточний діагноз D_k на підставі зважених результатів роботи вирішальних правил. Варіанти реалізації блоку логічного виводу:

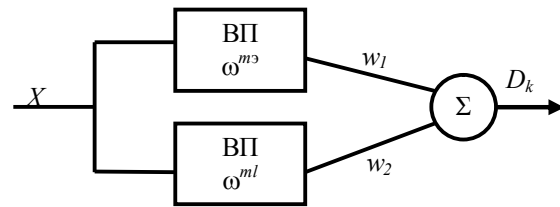


Рис. 1. Структурна схема колективу вирішальних правил

$$\min(R(\omega, \omega^{m^a}), (R(\omega, \omega^{m^l}))) \rightarrow D_k, \quad (5)$$

$$\min(w_1 R(\omega, \omega^{m^a}) + w_2 (R(\omega, \omega^{m^l}))) \rightarrow D_k. \quad (6)$$

2. Підсумовування оцінок. Остаточний варіант комбінованого вирішального правила, що пропонується в даній роботі полягає у використанні суми оцінок складових кожної координати еталона у методи порівняння з еталоном. При цьому координати еталона на етапі навчання обчислюються за формулою

$$x_i^m = k_1 x_i^{m^a} + k_2 x_i^{m^l}, \quad (7)$$

де $k_i > 0, \sum k_i = 1, i = \overline{1, 2}$.

Вагові коефіцієнти k_i визначаються на етапі навчання системи і відповідають ступеню довіри до кожної складової. Кінцевий користувач-експерт повинен мати можливість корегувати ці значення на власний розсуд під особисту відповідальність.

В подальшому класифікація нових об'єктів виконується за стандартним алгоритмом методу порівняння з еталоном. У будь-якому разі, діагноз визначений за допомогою запропонованого ВП носить дорадчий характер. Рішення про постановку остаточного діагнозу приймає лікар.

Реалізація СППР та тестова перевірка. Виконано обґрунтування реалізації системи підтримки прийняття рішень. Найбільш привабливими засобами розробки програмного забезпечення на сьогодні є ті, що дозволяють створювати додатки, які є кросплатформним на рівні запуску. Лідерами в цій галузі є платформи. NET (Microsoft) і Java (Oracle Corporation (раніше Sun Microsystems)). Операційна система (ОС) Windows займає майже 90% ринку ОС для персональних комп'ютерів, таким чином, була обрана ОС Windows. Також її API дозволяють побудувати необхідний інтерфейс програм. Враховуючи економічну складову і наявність останніх версій середовищ виконання для більшості сучасних платформ (Windows, UNIX, Linux) в якості платформи розробки обрано Java. Дана мова дозволяє використовувати на пряму API системи Windows, має гнучкі можливості для роботи з пам'яттю, має багато бібліотек для роботи з інтерфейсом. В якості засобів проектування баз даних обрано MySQL. Сформульовані вимоги до функціональних можливостей системи. Розроблена архітектура програмного забезпечення системи, яка включає складові: ядро системи (забезпечує роботу з даними, формування знань, здійснює діагностику), базу даних та інтерфейс користувача (відповідність шаблону MVC в архітектурному плані). Виконано тестування системи на реальній медичній базі даних навчальної вибірки, яка містить 253 записи навчальної вибірки, що включає 9 ознак клінічного аналізу крові та 4 діагнози. Її структура наведена у табл. 1.

Результати тестових випробувань показують, що спільне використання складових вирішального правила дозволяє підвищити ефективність постановки діагнозу на 13.4% відносно самостійного використання методу порівняння з прототипом (ефективність самостійного використання методу порівняння з прототипом 76.73%, самостійної діагностики, заснованої на описі симптомокомплексів – 37.56%, спільне використання – 90.1%).

Таблиця 1 – Структура навчальної вибірки

МКХ-10	Назва	Кількість осіб
D50	Залізодефіцитна анемія	60
D53.0	Анемія внаслідок недостатності білків	40
D55	Анемія внаслідок ферментних порушень	53
-	Умовно здоровий	100

Висновки

У статті обґрунтовано необхідність синтезу комбінованого вирішального правила, яке поєднує

два підходи до формулювання діагностичного висновку: об'єктивна, що заснована на аналізі навчальної вибірки, і суб'єктивна, яка заснована на експертній інформації про структуру симптомокомплексів. Розроблено математичну модель вирішального правила на основі модифікації методу порівняння з прототипом шляхом внесення експертної інформації щодо структури симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів. Запропоновано варіанти спільного використання його складових (колектив вирішальних правил, зважування та підсумовування оцінок). Розроблено програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень та виконано тестову перевірку на реальних медичних даних. Результати тестових випробувань підтвердили працездатність системи та показали ефективність постановки діагнозу.

Подальші дослідження направлені на застосування розробленого вирішального правила при аналізі не тільки числових ознак, але і різномірної діагностичної інформації, включаючи біомедичні сигнали та зображення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поворозник А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил. Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 314 с.
2. Аврунін О.Г. Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики: монографія / О.Г. Аврунін, Є.В. Бодяньський, М.В. Калашник, В.В. Семенець, В.О. Філатов. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 236 с.
3. Тимчик С.В., Класифікація медичних інформаційних систем і технологій за інтегральним сукупним критерієм / С.В. Тимчик, С.М. Злепко, С.В. Костішин // Системи обробки інформації – 2016 – 3 (140) – С. 194-198.
4. Yang Y. T., Iqbal U., Horn-Yu Ching J. et. "Trends in the growth of literature of telemedicine: A bibliometric analysis". *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2015; Vol. 122 (3): 471–479. DOI: 10.1016/j.cmpb.2015.09.008
5. Весненко А.И., Попов А.А., Проненко М.И. Топо-типология структуры развернутого клинического диагноза в современных медицинских информационных системах и технологиях. *Кибернетика и системный анализ*. 2002. № 6. С. 143-154.
6. Кобринский Б.А. Системы поддержки принятия решений в здравоохранении и обучении / Б.А. Кобринский // *Врач и информационные технологии*, 2010, 2: 39–45.
7. Zhukovskaya O.A., Fainzilberg L.S. "Bayesian Strategy for Group Decision Making and its Interval Generalization". *Journal of Automation and Information Sciences*. 2019; Vol. 51, Issue 1: 1-14. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v51.i1.10
8. Дюк В.А. Компьютерная психодиагностика / В.А. Дюк – СПб.: Братство, 1994. – 364 с.
9. Innocent P.R., John R.I., Garibaldi J.M. "Fuzzy Methods for Medical Diagnosis". *Applied Artificial Intelligence*. 2004; Vol. 19, Issue 1: 69-98. DOI: 10.1080/08839510590887414
10. Das S., Sanyal M.K. "Machine intelligent diagnostic system (MIDS): an instance of medical diagnosis of tuberculosis". *Neural Comput & Applic.* 2020; Vol. 32: 15585–15595. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-04894-8>
11. Шлезингер М., Главач В. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. К.: Наук. думка, 2004. 545 с.
12. Бородулин В.И. Тополянский А.В. Справочник практического врача в 2-х книгах. Книга 1 М.: Оникс; Мир и Образование, 2007. — 752 с.

Received (Надійшла) 19.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2021

Synthesis of a combined diagnostic decision rule in a medical decision support system

Anatoly Povoroznyuk, Oksana Povoroznyuk, Khaled Shekhna

Abstract. The work is devoted to solving the urgent scientific and technical problem of building a decision support system based on the implementation of the developed model of the diagnostic decision rule by means of modern information technologies, the use of which made it possible to ensure the operability of the system on various hardware platforms under the control of various operating systems. Based on the analysis of the methods which are used to construct decision rules in decision support systems, the components of the combined decision rule are proposed, expressing two approaches to the formulation of a diagnostic conclusion: objective, based on the analysis of the training sample, and subjective, based on expert information about the structure of symptom complexes. **The aim** of the study is to synthesize a combined decision rule based on the method of comparison with a prototype, which would take into account both the objective and subjective components of the diagnosis process. **Results.** It was developed a mathematical model of the combined diagnostic decision rule and was substantiated the choice of its components in the work. The method of comparison with the prototype, in which the diagnosed states are represented by their prototypes in the feature space, was chosen as an objective component. The expert information on the structure of symptom complexes is formalized by presenting the symptom complex of diseases with numerical intervals of linguistic variables. Variants of accounting of expert assessments on the structure of symptom complexes when calculating the coordinates of class prototypes are considered. Requirements for the functionality of the system are formulated, design tools, the main development platform (Java), and the database management system (MySQL) are defined. The design of a decision support system and a comprehensive check of the developed system on real medical data were carried out, which confirmed the efficiency of the system.

Keywords: medical diagnostics, decision rule, method of comparison with the prototype, symptom complex, expert information, decision support system.

О. А. Руденко¹, О. В. Шефер¹, Ю. Л. Поночовний²

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВТОРИННИХ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ КОРИГУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ АПРОКСИМУЮЧОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ

Анотація. У статті запропоновані процедури, які дозволяють визначити коригувальні коефіцієнти для апроксимації кривої зміни виявлених дефектів програмних засобів. Визначено, що при оцінюванні надійності програмних засобів не враховуються вторинні дефекти, які додатково вносяться в процесі тестування та відлагодження. Показаний вплив вторинних дефектів на характеристику надійності програмного забезпечення та якість програмних засобів в цілому. Наголошено на необхідності врахування вторинних дефектів при дослідженні часових рядів, у яких прояв таких дефектів виділяється з усього потоку подій; при імітаційному моделюванні відмов у складних апаратно-програмних комплексах і системах; для модифікації функцій ризику при оцінюванні надійності програмних засобів; при динамічному аналізі складних програмних систем на різних етапах їх життєвого циклу, включно з їх відлагодженням, модифікацією та супроводом. Показано, що зміщення графіка апроксимуючого полінома відносно полігону частот дефектів дозволяє провести кількісну оцінку вторинних дефектів. Обґрунтовано вибір поліному для апроксимації тренду дефектів у випадку оцінювання надійності програмних засобів моделями з функціями ризику, що містять складові другого ступеня. Наведено основні етапи послідовного зміщення лінії апроксимації у контексті алгоритму знаходження коригувальних коефіцієнтів. Обґрунтовано використання поправки Бесселя для вибірок полігону частот дефектів малого об'єму. Наведено приклад оцінювання кількості вторинних дефектів, що вносяться при відлагодженні програмних засобів за допомогою скоригованого тренду як полінома другого порядку.

Ключові слова: апроксимація поліномом другого степеня, коефіцієнти для коригування, якість та надійність програмного забезпечення, вторинний дефект, полігон частот дефектів, модель оцінки надійності програмних засобів.

Вступ

Широке впровадження автоматизованих систем та бурхливий розвиток їх індустрії на даний час неможливо уявити без розроблення та застосування в них програмних засобів різного призначення. Вирішальна роль програмного забезпечення (ПЗ) у вдосконаленні наявних та формуванні нових технологій з кожним днем зростає, адже воно використовується у всіх сферах людської життєдіяльності. При цьому, як показує статистика аварій, катастроф та критичних ситуацій [1, 2], зростає й кількість відмов апаратно-програмних комплексів саме з причини прояву програмних дефектів. Це пов'язано з багатьма факторами, зокрема, зі зростанням складності архітектури ПЗ, тривалими та мінливими процесами його розробки та модифікації тощо. [4, 5]. Тому зараз серед множини показників якості ПЗ особливе місце займає характеристика його надійності, складові якої регламентовані як державними, так і міжнародними стандартами та нормативними документами [5, 6].

Забезпечення надійності ПЗ є складним процесом, що охоплює всі етапи життєвого циклу і вимагає часових та фінансових затрат. Як правило, на усіх етапах життєвого циклу ПЗ вирішуються задачі оцінювання показників, у тому числі й надійності.

Питання забезпечення надійності розкриті у роботах і закордонних [3, 7], і вітчизняних учених [8, 9]. Особливістю підходів, розглянутих у вказаних дослідженнях є моделювання дефектів, як результатів недосконалого проектування та відлагодження ПЗ. Варто зазначити, що в процесі відлагодження та тестування ПЗ в них можуть бути внесені так звані

вторинні дефекти. Вторинні дефекти – дефекти, що вносяться у процесі усунення виявлених первинних дефектів.

Дослідження проблем врахування вторинних дефектів програмного забезпечення знайшли відображення у роботах вітчизняних учених Харченка В.С., Конорева Б.М., Одарушенка О.М. [10, 11], Маєвського Д.А. [13,14] та ін.

Задачі врахування впливу вторинних дефектів на надійність ПЗ можна розділити на наступні категорії:

– виділення вторинних дефектів із загального потоку з використанням методів теорії часових рядів, [13];

– імітаційне моделювання відмов у складних апаратно-програмних комплексах і системах [14];

– динамічний аналіз складних програмних систем на різних етапах їх життєвого циклу, включно з їх відлагодженням, модифікацією та супроводом [10, 12];

– модифікація функцій ризику при оцінюванні надійності програмних засобів внесенням доданку, що характеризує вторинні дефекти [10], а також комплексування модифікованих моделей надійності (МНПЗ) [15];

– оцінювання кількісних показників вторинних дефектів на часових інтервалах шляхом порівняння значень тренду дефектів з відповідними значеннями функції регресії [16,17].

Мета статті – знаходження коефіцієнтів для коригування лінії апроксимації полінома другого степеня тренду статистичних даних числа виявлених дефектів ПЗ для оцінки кількості вторинних дефектів на часових інтервалах.

Основна частина

У більшості досліджень, що стосуються надійності ПЗ, зокрема у роботах [16,17] виконано обгрунтування вибору і використання апроксимації експоненціальним трендом. Це обумовлюється експоненціальною складовою функцій ризику великої кількості МНПЗ.

Проте, функції ризику наступних МНПЗ містять параметри не тільки в експоненті, а й у другому степені:

– базова S-подібна модель [19], функція ризику

$$\lambda(t) = BK^2te^{-Kt}, \quad (1)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; $B, K > 0$ – параметри моделі;

– модель Охба [20], що має функцію ризику

$$\lambda(t) = ab^2te^{-bt}, \quad (2)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; a – початкове число дефектів у ПЗ; b – інтенсивність усунення дефектів.

Таким чином, якщо нормативними та керівними документами регламентовано використання саме таких МНПЗ, виникає необхідність використовувати процедури апроксимації, адекватні вказаним функціям ризику, а саме поліномами другого степеня.

Алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів через коригування коефіцієнтів поліному другого степеня

Оцінювання числа вторинних дефектів ПЗ здійснюється на основі статистичних даних про кількість виявлених дефектів за вказаний часовий проміжок.

Статистика кількості виявлених дефектів подається у вигляді дискретного варіаційного ряду частот виявлених дефектів, варіантами якого є кінці рівновіддалених часових інтервалів, на які розбивається весь час процесу виявлення дефектів, а частотами – кількість виявлених дефектів на кожному часовому інтервалі.

Запропонований алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ здійснюється у наступній послідовності (рис. 1).

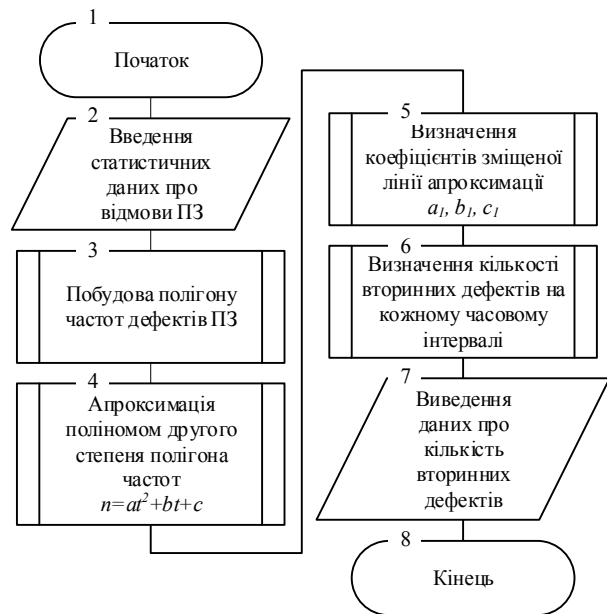


Рис. 1. Алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ

Процедури алгоритму П. 2 та П. 3. були детально розглянуті у [17, 18]. Апроксимація поліномом другого степеня одержаного полігону частот здійснюється у загальному вигляді через рівняння $n = at^2 + bt + c$. У результаті виконання процедури П.4 визначаються первинні коефіцієнти a, b, c .

Процедура П. 5 має особливості розрахунків коригованих коефіцієнтів, показані на рис. 2.

Спочатку процедура будується виходячи з припущення, що в момент часу t_1 , який відповідає кінцю першого інтервалу, значення одержаної і скорегованої лінії апроксимації відрізняються на σ – середнє квадратичне відхилення числа виявлених дефектів.

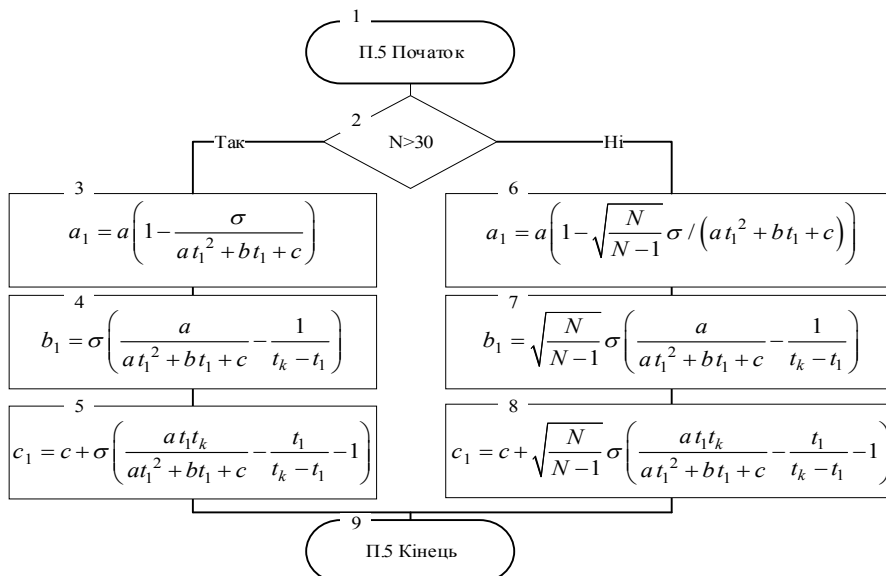


Рис. 2. Алгоритм процедури П.5 визначення коригованих коефіцієнтів апроксимації

Коефіцієнт a_1 при t^2 у рівнянні зміщеної лінії апроксимації визначається з пропорції

$$(n_1 - \sigma) / n_1 = \dot{a}_1 / a. \quad (3)$$

Далі, виходячи з припущення, що нескоригована і скоригована лінії апроксимації перетинаються в момент часу t_k , що відповідає кінцю останнього інтервалу часу, коефіцієнти b_1 і c_1 скоригованої лінії апроксимації знаходять з системи рівнянь

$$\begin{cases} a_1 t_1^2 + b_1 t_1 + c_1 = n_1 - \sigma, \\ a_1 t_k^2 + b_1 t_k + c_1 = n_k, \end{cases} \quad (4)$$

де n_k – значення апроксимуючої функції в момент часу t_k . Розв'язавши систему (4), а також, врахувавши пропорцію (3) послідовно знаходимо коефіцієнти зміщеної лінії апроксимації

$$a_1 = a(n_1 - \sigma) / n_1. \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{n_k - n_1 + \sigma}{t_k - t_1} - \frac{a(n_1 - \sigma)(t_k + t_1)}{n_1}. \quad (6)$$

$$c_1 = n_1 - \sigma + \frac{a t_1 t_k (n_1 - \sigma)}{n_1} - \frac{(n_k - n_1 + \sigma) t_1}{t_k - t_1}. \quad (7)$$

Виключаючи у рівностях (5)-(7) n_1 і n_k та провівши ряд тождественних перетворень, отримуємо коефіцієнти скоригованої лінії апроксимації поліномом другого степеня, вказані у блоках П.5.3, П.5.4 та П.5.5. При малих вибірках, коли їх об'єм N не перевищує 30 при знаходженні середнього квадратичного відхилення вносять поправку Бесселя. З урахуванням поправки Бесселя рівності (5)-(7) набудуть вигляду, вказаного у блоках П.5.6, П.5.7 та П.5.8. Число вторинних дефектів на кожному часовому інтервалі у процедурі П.6 (рис. 1) визначається як

$$n^{BH} = n_i - n_i^*, \quad i = \overline{1, k}, \quad (8)$$

де n_i – частота i -го часового інтервалу варіаційного ряду, що характеризує кількість дефектів, виявлених за цей період, n_i^* – значення скоригованої лінії апроксимації поліномом другого степеня

$$n_1 = a_1 t^2 + b_1 t + c_1.$$

Результат, обчислений за формулою (8), округлюється до цілих. Якщо $n^{BH} < 0$, то вважається, що на відповідному часовому інтервалі вторинні дефекти відсутні. Припущення, що в момент часу t_1 , який відповідає кінцю першого інтервалу часу, значення одержаної і скоригованої ліній апроксимації поліномом другого степеня відрізняється на величину середнього квадратичного відхилення числа виявлених

дефектів ґрунтується на тому, що середнє квадратичне відхилення є характеристикою міри розсіяння значень випадкової величини від вибіркового середнього.

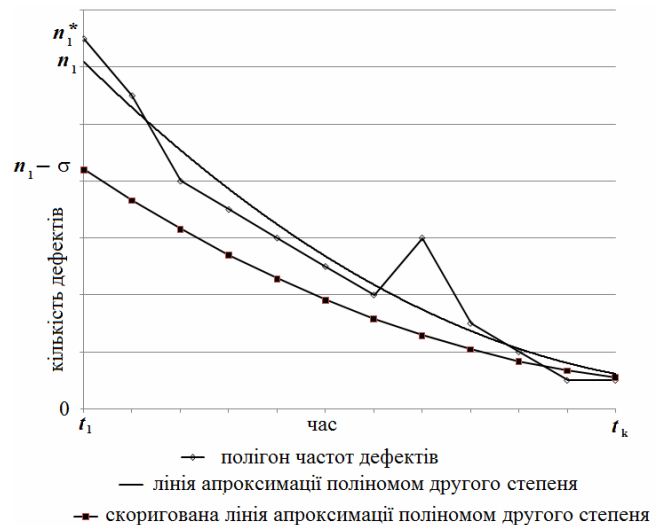


Рис. 3. Полігон частот дефектів, лінія апроксимації поліномом другого степеня та скоригована лінія апроксимації поліномом другого степеня

Виходячи з того, що на початкових етапах тестування ПЗ ймовірність внесення вторинних дефектів більша, оскільки більше число виявлених дефектів і, як наслідок, проводиться більше роботи, спрямованої на їх усунення, різниця між відповідними значеннями ліній апроксимації і скоригованої лінії апроксимації більша, а зі збільшенням t ця різниця зменшується. У момент часу t_k ці значення збігаються. Це впливає з припущення, що на останньому етапі тестування всі виявлені дефекти усунуті (рис. 3).

Висновки

Одержані коефіцієнти рівняння зміщеної лінії апроксимації поліномом другого степеня для оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів без урахування та з урахуванням поправки Бесселя. Результат отримано шляхом порівняння значень зміщеної апроксимуючої функції полігону дефектів та відповідних значень частот дефектів.

Одержані результати дозволяють проводити кількісну оцінку вторинних дефектів при використанні моделей, функції ризику яких містять параметри другого степеня.

Подальші дослідження використання апроксимуючих функцій для кількісної оцінки вторинних дефектів за статистичними даними слід спрямувати на аналіз аналітичних функцій ризику та припущень МНПЗ та можливість використання інших функцій апроксимації статистичних даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Theocharidou, M. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach [Електронний ресурс] / M. Theocharidou, G. Giannopoulos // Scientific and Technical Research Reports. – 2015. – Режим доступу до ресурсу : <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623>.
- Брежнев Е.В. Риск-анализ множественных отказов в инфраструктурах [Текст] / Е. В. Брежнев // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / М-во оборони України, Харківський ун-т Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Харків, 2011. – Вип. 5 (95). – С. 261–264.

3. Липаев В.В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени. – М: РАН, 2013. 176 с.
4. Поночовний Ю. Л. Методологія забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем з використанням багатопольових стратегій обслуговування / Ю. Л. Поночовний, В. С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - 2020. - № 3. - С. 43–58.
5. International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2010, 34 p.
6. International Electrotechnical Commission. (2015-02-26). IEC 60050-192. International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/21886>.
7. Peng R., Liu J. Simulated Software Testing Process Considering Debuggers with Different Detection and Correction Capabilities. *International Journal of Performance Engineering*, Vol. 13, no. 3, 2017, 334-336
8. Гордеев А.А. Элементы методологии профилоориентированного оценивания качества программного обеспечения информационных систем” / А.А. Гордеев, В. С. Харченко // *Проблеми інформатизації та упр.: зб. наук. пр.*. – 2014. – № 3, вип. 47 – С. 24-30.
9. Гордеев А.А. Модель качества отдельного требования программного обеспечения / А.А. Гордеев // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2020. – № 2. – С. 48-58. doi: 10.32620/reks.2020.2.04.
10. CASE-оценка критических программных систем. Т. 2. Надежность [Монография] / Одарушенко О.Н., Харченко В.С., Маевский Д.А. и др. – Под ред. Харченко В.С. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, 2012. – 292 с.
11. Одарушенко О.Н. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / О.Н. Одарушенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2012. – № 7 (59). – С. 294-300.
12. Маевський Д.А. Структурна динаміка програмних систем і прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів / Д.А. Маевський // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 3 (44). – С. 103-109.
13. Маевский Д. А. Использование теории временных рядов для выделения вторичных ошибок на этапе тестирования программного обеспечения / Д.А. Маевский, О.П. Жеков // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2011. – № 2 (16). – С. 82-85.
14. Мищенко В.О. Термодинамический подход к моделированию процесса роста надежности программных средств с учетом «вторичных дефектов» / В.О.Мищенко // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. – 2015. – Вип. 28. – С. 91-106.
15. Руденко О.А. Оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів шляхом комплексування модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона / О.А. Руденко, О.М. Одарушенко, З.М. Руденко, О.Б. Одарушенко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2020. – Вип. 1 (59). – С. 97-100.
16. Rudenko O., Odarushchenko E., Rudenko Z., Rudenko M., “The Secondary Software Faults Number Evaluation Based on Correction of the Experimental Data Exponential Line Approximation“, *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018*, Kyiv, 2018, pp. 401-405.
17. Руденко О.А. Знаходження параметрів скоригованої лінії експоненціальної апроксимації експериментальних даних виявлених дефектів при оцінюванні кількості вторинних дефектів програмних засобів / О.А. Руденко, З.М. Руденко, Г.В. Головка, О.Б. Одарушенко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – Випуск 6 (52). – С. 74-78.
18. Shtompel, M., Prykhodko, S., Shefer, O., Halai, V., Zakharchenko, R., & Topikha, B. (2020). Performance analysis of the bioinspired method for optimizing irregular codes with a low density of parity checks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(9 (108), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216762>
19. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection // *IEEE Trans. Reliability*. - 1983. - R-32. - № 5. - P. 475-518.
20. Ohba M. Software Reliability Models // *IBM J. Res. Develop.* - 1984. - 28. - № 4. - P. 428-443.

Received (Надійшла) 11.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

Algorithm for determining the number of secondary software faults by adjusting of the approximating coefficients of second degree polynomial

O. Rudenko, O. Shefer, Y. Ponochovniy

Abstract. The article proposes procedures that allow to determine the correction factors to approximate the curve of change of detected software faults. It is determined that when assessing the reliability of software, secondary faults are not taken into account, which are additionally introduced in the process of testing and debugging. The influence of secondary faults on the characteristic of software reliability and quality of software in general is shown. Emphasis is placed on the need to take into account secondary faults in the study of time series, in which the manifestation of such faults stand out from the whole flow of events; when simulating failures in hardware and software complexes and systems; to modify risk functions when assessing the reliability of software; in the dynamic analysis of complex software systems at different stages of their life cycle, including their debugging, modification and maintenance. It is shown that the shift of the graph of the approximating polynomial with respect to the faults frequency polygon allows to quantify the secondary faults. The choice of a polynomial to approximate the trend of defects in the case of assessing the reliability of software models with risk functions containing components of the second degree is substantiated. The main stages of successive displacement of the approximation line in the context of the algorithm for finding the correction factors are given. The use of the Bessel correction for small-scale fault frequency landfill sampling is justified. An example of estimating the number of secondary faults introduced during software debugging using a corrected trend as a second-order polynomial is given.

Keywords: second degree polynomial approximation, coefficients for correction, software quality and reliability, secondary fault, fault frequency range, software reliability assessment model.

E. Skakalina

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine

INTELLECTUAL CONTROL OF LOGISTIC PROCESSES USING GENETIC ALGORITHMS

Abstract. Global business digitalization entails the automation of a large number of business processes, both key and auxiliary. This trend is becoming a defining factor in the global BPM market. Intelligent systems for automating business processes cover not only the corporate segment of large corporate business, but quickly penetrate into medium-sized businesses and find application in government agencies. A strategic guideline in the digitalization of flow control is an innovative approach, which should be systematic. The proposed concept of digitalization of logistics processes is implemented on a heuristic basis, which corresponds to the permanence of the transition from traditional management of complex systems to logistics management and is determined by the degree of penetration of logistics management to all levels. The use of precise methods to optimize transportation cannot be implemented due to the difficulty of taking into account the external parameters and time constraints imposed by the dimension of the problem. The heuristic approach to which the genetic algorithm belongs is considered.

Keywords: BPM-solutions, Matlab, intelligent control systems, innovative logistics, optimization, digitalization of processes, genetic algorithms

Introduction

At present, logistics is one of the fastest growing areas of productive activity. This tendency is also fully observed in the sphere of logistics services. As an example, we can cite the United States, where the turnover of logistics services is about 40 billion dollars.

On the basis of innovative transformations of the logistics information infrastructure, management tools are developing, new logistics concepts are being developed, such as "Party Logistics"[1], which are based on determining the level of involvement of independent companies (logistics providers / operators) to solve business problems of the customer.

Based on the innovative information logistics infrastructure, management tools are being developed, new logistics concepts have been formed, which are based on determining the level of involvement of independent companies (logistics suppliers / operators) in solving customers' business problems. He now allocates 1PL-, 2PL-, 3PL-, 4PL- and 5PL logistics. Level 5PL (Fifth Party Logistics) provides support for advanced network computing.

Distributed according to the classification of logistics operators in the context of supply chain management.

- 1PL - autonomous logistics, in which all operations are performed by the customer;
- 2PL involves the involvement of a third party to perform certain types of work;
- 3PL provides for the use of subcontractors;
- 4PL solves the problem of supply chain formation, planning, management and monitoring of processes in logistics organizations.
- 5PL provides the organization of logistics outsourcing, using the global information space.

The activity of 5PL-provider (operator) is based on a complex of modern information technologies.

Thus, the 5PL operator controls the main flow of information about orders, resources, plans and the actual state of the transport network. Models of interactive planning management within 5PL are considered in [2].

5PL-provider is a logistics outsourcer that provides a full range of services through the use of global information technology space. We can say that this is a so-called "virtual" logistics partner, in whose hands all the information about the logistics capabilities of market participants and high-tech IT products that allow you to build the most optimal supply chain. The European Union is actively funded from the budget of the new global development of IT technologies in the field of logistics. One of the potential results of this process could be a unified information logistics network throughout the European Union. In Ukraine, start work on the introduction of a new level of logistics services 5PL, which will allow it to become one of the first countries in the world in this direction, as it occupies one of the leading positions in the world in the level of IT professionals.

The optimization tasks of transport logistics are not amenable to a quick and effective solution. Modern results of research on methods of solving the main problem of routing (VRP - Vehicle Routing problem), include a variety of mechanisms for finding and improving an acceptable solution [3]. VRP belongs to the class NP - complex problems. For small dimensions, integer linear programming methods are used, for large dimensions - metaheuristics, which have become widely used in practice. Within the framework of the second direction, a hybrid genetic algorithm (GGA) is proposed, which differs from the classical genetic algorithm using the apparatus of the theory of fuzzy sets (FST) to regulate the size of the initial population.

Basic material and results

Classical algorithms do not have the possibility of parallelization and have an exponential increase in execution time from the dimension of the problem. That is, the number of mathematical actions (commands) increases exponentially, and the development of processor elements (increasing clock speed, reducing the number of clock cycles of execution of commands, delay in retrieving data from memory) does not compensate for the growing (increasing the size of the

problem) needs of classical algorithms. Accurate methods of solving transport problems (TP) help to find solutions only for problems with a small number of customers. To solve large-scale problems, accurate methods are ineffective due to their large time costs. However, right now we need effective algorithms for solving large-scale problems, as currently visible processes of globalization in the economy. This leads to the need to plan transport operations with a large number of customers, ie to a larger vehicle. Thus, the solution of large vehicles is an urgent task. One of the classes of vehicles is a vehicle with a time limit, this class of tasks is difficult to solve, but necessary and widely used in practice. The time-limited TP model describes: bank and postal deliveries, transportation of people, collection of industrial and household waste, delivery of products, delivery of fuel and materials to enterprises.

The scheme for the implementation of management decisions in logistics is shown below (Fig. 1).



Fig. 1. Implementation of management decisions in logistics

This approach can be applied using two known aspects: the first aspect is fuzzy systems to describe the input variables to solve the problem of system operation in conditions of economic risk and technical uncertainty; the second aspect is genetic algorithms to perform the process of optimizing a system operating in the above conditions. Evolutionary calculations are used to provide a general description of search, optimization, or learning algorithms based on formalized principles of the natural evolutionary process. Evolutionary methods are designed to find the desired solutions and are based on a statistical approach to the study of situations and iterative approximation to the desired state of the systems.

In contrast to the exact methods of mathematical programming, evolutionary methods allow to find solutions close to the optimal ones in a reasonable time, and in contrast to the known heuristic methods, optimizations are characterized by significantly less dependence on the features of the program. Decisions can, as a rule, generate new solutions that will follow the best features of their "ancestors". Modeling of the mutation process is used as a random element in the methods of evolutionary calculations. With its help, the characteristics of a solution can be accidentally changed, which will lead to a new direction in the evolution of solutions and can accelerate the process of making a better solution.

Heuristic insertion methods are the best solution for limited and specific source data, as it is based on the consistent application of a comparative assessment of the quality of the lengths of each route.

Here are the four most popular heuristic algorithms [4]:

- Nearest Neighbor method;
- Nearest Town method;
- the method of the cheapest inclusion (Most Cheap Inclusion);
- the method of the minimum spanning tree (Minimum Spanning Tree).

The first of these methods is that the intermediate points are sequentially included in the route, and each subsequent point must be closest to its neighbor.

The next method is characterized by the fact that at each step of the algorithm builds a valid route for a given subset of points that have already been added to the route, and then adds another item not yet included in the route.

The third method is the method of the cheapest inclusion, at each stage of construction of algorithm the new point which is adjacent between two points already included in a route is added that leads to the minimum increase in a route and reduces lack of time.

However, each of the heuristic methods is formed on some unfounded considerations, which does not allow to fully assess the optimality of the solutions found.

Taboo search - a meta-heuristic algorithm for local search, which was proposed by F. Glover. This algorithm conducts a local search, which protects it from falling into the so-called "trap" of optimums. He achieves this by banning those movements that can return him to cyclical work. This algorithm is based on a list of taboos that is updated during each stage of the algorithm, and the choice of decision can not take any forbidden attribute. This is a very promising and reliable method of optimization for the transportation plan, but the analysis of violations does not allow to find all acceptable solutions.

The branch and boundary method is one of the most well-known return and restriction search methods. When using this method, the cost will have to be constant and clearly stated. But with a large dimension of the problem, such a method is not relevant, because it belongs to the class of exact methods, and this does not allow to find the most optimal route for the transportation plan at most existing enterprises.

The ant algorithm is a very "greedy" heuristic, where the probability of making a decision depends on the quality of the decision that was made earlier [5]. This method is based entirely on the behavior of ants, due to their unique ability to find the shortest path from an anthill to food. When searching for the optimal route, an ant marks the path with some pheromone, and this information remains a clue for other ants from the same anthill. This method is good only when local search is used, without it, the optimal solution will not be found.

A genetic algorithm is a heuristic algorithm for solving optimization problems using mechanisms that mimic biological evolution. In the case of a genetic algorithm, evolution means the evolution of a population of individuals (chromosomes) -solutions, the adaptability of each of which is determined by the value of the objective function corresponding to this solution. In the simplest case of the canonical genetic algorithm, the

simulation of such evolution is reduced to the simulation of the emergence of new offspring (new solutions) based on the crossing of parental individuals (old solutions), the simulation of the selection of the most adapted individuals (rare random changes of decisions). The correspondence of the terms of the evolutionary and mathematical models is shown in table 1.

Table 1 – Correspondence of terms of evolutionary and mathematical models

Evolutionary model	Mathematical model
chromosome	Solution, object, string, sequence
gene	Variable, parameter, characteristic, attribute
allele	The value of the fragment of the encoded parameter
locus	The fragment number of the coded parameter
genotype	The set of coded solutions of the solution space problem
phenotype	Many solutions to the problem
Individual, individual	object, system
suitability, suitability	Quality, optimality
Fitness - function	Target function
population	Many solutions
generation	Iteration of the evolutionary algorithm

This algorithm uses a single-point crossover operator. Then the procedure for executing the crossover operator can be described as follows:

Step 1 - determine the number of chromosomes involved in the operation of crossover. In this modification of GA involved two chromosomes, ie $h = 2$.

Step 2 - select from the population a given number of solutions (either in a probabilistic manner or based on the value of the objective function).

Step 3 - randomly select the crossingover point in the selected chromosomes.

Step 4 - paste by copying the segments located at the breakpoints, in other selected solutions.

Step 5 - calculate the correctness of the received decisions, removal of incorrect decisions, if any.

Step 6 - calculate and estimate the value of the objective function for new solutions and include them in the current population.

PJSC "Ukragrotehnika" was chosen as an object of the subject area, which has 7 own production facilities in the Poltava region, and a technological transport park of 6 different types. the routes are shown below (Fig. 2).

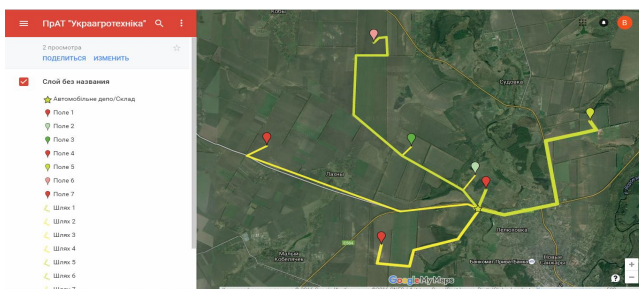


Fig. 2. Layout of production facilities

The restrictions for the genetic algorithm (GA) to work using the Matlab (ML) are as follows:

1. By the amount of harvest

$$\begin{aligned} x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7 &= 5547,23 \\ x8+x9+x10+x11+x12+x13+x14 &= 24770,4 \\ x15+x16+x17+x18+x19+x20+x21 &= 60797,8 \\ x22+x23+x24+x25+x26+x27+x28 &= 10874,8 \\ x29+x30+x31+x32+x33+x34+x35 &= 8114,51 \\ x36+x37+x38+x39+x40+x41+x42 &= 7975,26 \end{aligned}$$

2. By the amount of harvest in the fields

$$\begin{aligned} x1+x8+x15+x22+x29+x36 &= 101,69 \\ x2+x9+x16+x23+x30+x37 &= 116,35 \\ x3+x10+x17+x24+x31+x38 &= 163,8 \\ x4+x11+x18+x25+x32+x39 &= 150,8 \\ x5+x12+x19+x26+x33+x40 &= 113,1 \\ x6+x13+x20+x27+x34+x41 &= 130,39 \\ x7+x14+x21+x28+x35+x42 &= 107,78 \end{aligned}$$

3. By the inalienability of variables

$$x1, \dots, x42 \geq 0$$

Therefore, based on the obtained conditions, we obtain the objective function for the ML software environment.

function [z] = kurs(x)

%KURS Summary of this function goes here

% Detailed explanation goes here

$$\begin{aligned} z = & 6.21*x(1)+4.11*x(2)+9.50*x(3)+5.15*x(4)+6.31*x(5)+ \\ & 5.45*x(6)+6.32*x(7)+23.86*x(8)+18.63*x(9)+45.05*x(10)+ \\ & 22.71*x(11)+27.10*x(12)+27.11*x(13)+25.74*x(14)+ \\ & 59.17*x(15)+45.05*x(16)+109.69*x(17)+55.23*x(18)+ \\ & 67.19*x(19)+67.22*x(20)+63.83*x(21)+11.08*x(22)+ \\ & 8.27*x(23)+19.05*x(24)+9.48*x(25)+12.67*x(26)+ \\ & 12.16*x(27)+11.29*x(28)+8.60*x(29)+5.70*x(30)+ \\ & 14.79*x(31)+7.13*x(32)+8.73*x(33)+8.80*x(34)+8.76*x(35)+ \\ & 8.53*x(36)+5.65*x(37)+13.70*x(38)+7.42*x(39)+ \\ & 8.66*x(40)+8.98*x(41)+8.69*x(42); \end{aligned}$$

end.

The calculation results are shown in the table. To verify the adequacy of GA application for the digitalization of logistic processes, the results obtained were compared with classical methods (tabl. 2).

Table 2 – Comparative analysis of calculation results

Initial cost	GA optimization	Percentage of cost reduction
100790,89 UAH	55046,1 UAH	49%

Conclusions

The main advantage of using evolutionary algorithms in general and genetic algorithms in particular when solving optimization problems is their ability to operate with a variety of solutions - a population, which allows reaching a global extremum without getting stuck in local ones. In this case, information about each individual of the population is encoded in the chromosome (genotype), the optimal solution (phenotype) is obtained after the implementation of the evolution process (selection, crossing, mutation) after decoding. Evolutionary

algorithms provide huge materials for further research due to the presence of a large number of modifications and parameters of their work. It should be noted that the efficiency of the GA operation strongly depends on the parameter settings. But this does not diminish the importance of GA as one of the most researched and developing algorithms for global direct search optimization. Thus, the digitalization of logistics processes allows us to solve several cases of problems: automation of processes, improving the quality of delivery, reducing costs, improving the shopping experience. Adequate prioritization allows you to define metrics that can be used to judge the success of digitalization. For the purpose of "quality improvement", this is, for example, an increase in the number of orders delivered on time and a% of positive feedback; to "cut costs" - reduce idle runs; for customer loyalty - an increase in the NPS index (Net Promoter Score or Customer Loyalty Index - the percentage of buyers who are ready to recommend a brand), repeat purchases and redemption of orders; for automation - reducing the time spent on completing tasks.

The rapid development of the digital economy requires the appropriate development of information systems (IS) and information technology (IT), changes the direction of government strategy to overcome the current challenges of building relationships with global IT giants (Google, Apple, Facebook and Amazon), whose total capitalization exceeded GDP of many developed countries of the European Union. For Ukraine there is a question of choice of priorities, which requires extremely rapid transformation of the traditional economy into its traditional paradigm to modern information intelligent digital economy, which

provides a synergistic effect of building the basis of "digital economy", "knowledge economy", "information society". In this context, the process of "consumption" of IT products becomes more significant. That is, not only to create powerful IT solutions for other countries, but also to implement modern IP and IT in national manufacturing sectors. In addition, the analysis of deep trends in energy and raw materials geopolitics shows a sharp increase in demand for energy, natural resources and food, which will increase tensions through access to these resources. Producers and consumers of these resources are complex geographically distributed systems (COTDS) or - business entities for which the task of managing large pools of resources (labor, financial, material, etc.) are the most relevant and significant -icant.

The research results presented in this paper are the basis for the formation of models and algorithms for optimizing the management of complex geographically distributed systems. The developed information technologies allow to solve a very complicated task of coordination of the three-level organizational system of COTDS, as this problem is significantly complicated by the need to harmonize the criteria of COTDS in general with the criteria of its individual components, which in turn are complex systems. In addition, these IITs can be applied autonomously in the structural units of vertically integrated entities as a basis for federal DSS and integrated into existing ERP and BPM systems on the horizon of strategic management. As a promising area of use of these IITs can be considered the possibility of their implementation within the concept of Blockchain, which is the basis of the concept of distributed data management systems.

REFERENCES

1. Skakalina, E. (2019), "Optimization model of logistic processes in business entities" in *Bezpartochnyi, M. & Britchenko I. (Ed.), Conceptual aspects management of competitiveness the economic entities, Higher School of Social and Economic in Przeworsk, Poland*, pp. 240-249.
2. Bronstein, E.M. Deterministic optimization problems transport logistics / EM Bronshtein, TA Zaiko // *Automation and telemechanics*. - 2010. - №10. - P. 133-147.
3. Lourenço H. R., Martin O., Stützle T. Iterated local search // *Handbook of Metaheuristics: International Series in Operations Research & Management Sci.* – Norwell: Kluwer Academic Publishers, MA, 2002. – 57. – P. 321–353.
4. Papacostas C. S., Prevedouros P. D. *Transportation Engineering and Planning / 3-rd edition.* – Prentice Hall, 2001. – 685 p.
5. E. Skakalina. Application of ant optimization algorithms in the solution of the routing problem / Elena Skakalina // *Control, navigation and communication systems*. - 2019. - Volume 6 № 58. - P.75-83. DOI: 10.26906 / SUNZ.2019.6.075.

Received (Надійшла) 02.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Інтелектуальне управління логістичними процесами з використанням генетичних алгоритмів

О. В. Скакаліна

Анотація. Цифровізація глобального бізнесу передбачає автоматизацію великої кількості бізнес-процесів, як ключових, так і допоміжних. Ця тенденція стає визначальним фактором на світовому ринку BPM-рішень. Інтелектуальні системи автоматизації бізнес-процесів охоплюють не тільки корпоративний сегмент великого корпоративного бізнесу, а й швидко проникають в середній бізнес і знаходять застосування в державних структурах. Стратегічним орієнтиром у цифровізації управління потоками є інноваційний підхід, який повинен бути систематичним. Пропонована концепція цифровізації логістичних процесів реалізується на евристичній основі, що відповідає сталості переходу від традиційного управління складними системами до управління логістикою і визначається ступенем проникнення управління логістикою на всі рівні. Використання точних методів для оптимізації транспортування не може бути реалізовано через складність обліку зовнішніх параметрів і часових обмежень, що накладаються розміром проблеми. Розглянуто евристичний підхід, до якого належить генетичний алгоритм.

Ключові слова: BPM-рішення, Matlab, інтелектуальні системи управління, інноваційна логістика, оптимізація, цифровізація процесів, генетичні алгоритми

С. Ф. Чалий, В. О. Лещинський, І. О. Лещинська

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

УЗГОДЖЕННЯ ПОЯСНЕННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ З БАЗОВИМИ ЗНАННЯМИ ЩОДО ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Предметом вивчення в статті є процеси побудови пояснень щодо запропонованих інтелектуальною інформаційною системою рішень. **Метою** є розробка методу узгодження пояснень в інтелектуальній інформаційній системі з урахуванням обмежень, які визначаються базовими знаннями щодо об'єктів та процесів у предметній області. **Завдання:** структуризація процесу побудови пояснень з урахуванням обмежень, представлених знаннями щодо предметної області; визначення аспектів узгодження пояснення; розробка методу узгодження знань щодо пояснення та предметної області. Використовуваними **підходами** є: підходи до побудови пояснень, підходи до узгодження знань. Отримані наступні **результати**. Виконано структуризацію процесу побудови пояснень з урахуванням етапу узгодження знань. Виділено аспекти узгодження знань пояснення із вхідними даними в сенсі використання даних для тлумачення, із отриманим інтелектуальною інформаційною системою рішенням в сенсі узгодження з задачами користувача, а також із знаннями предметної області в сенсі обмежень для використання пояснення. Запропоновано метод узгодження пояснення із знаннями щодо предметної області. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано метод узгодження пояснення із базовими знаннями щодо об'єктів та процесів у предметній області. Метод передбачає ітеративне виконання послідовності узгодження даних щодо процесу прийняття рішень в інтелектуальній системі із знаннями, що описують предметну область, перевірку узгодженості розробленого пояснення із множиною знань щодо предметної області, а також узгодження пояснення з результируючим рішенням інтелектуальної інформаційної системи. В практичному аспекті метод орієнтований на формування підмножини пояснень, що не протирічать базовим з знаннями щодо предметної області. Пояснення у складі цієї множини у подальшому можуть бути упорядковані за критерієм ефективності, з урахуванням особливостей задач, для вирішення яких призначені сформовані інтелектуальною системою рішення.

Ключові слова: знання щодо предметної області; узгодженість знань; інтелектуальна інформаційна система; рекомендації; пояснення, патерни пояснень.

Вступ

Інтелектуальні інформаційні системи (ІС) застосовуються при вирішенні неструктурованих або частково структурованих задач на основі поєднання формальних та евристичних підходів. Тому процес отримання рішення в ІС є закритим для користувача, що зменшує довіру останнього до отриманих результатів. Для того, щоб підвищити довіру користувача та спонукати його до використання результатів роботи ІС, використовують пояснення [1]. Пояснення дає можливість користувачеві отримати відповідь на питання «Чому було отримано саме цей результат?» або «Чи можна успішно імплементувати запропонований результат при вирішенні задач користувача?».

Наприклад, пояснення в рекомендаційній системі можуть показувати, що інші користувачі успішно використали рекомендований продукт або послугу. Пояснення є обґрунтуванням для користувача рішення, представленого інтелектуальною інформаційною системою, оскільки воно формує причинно-наслідкові зв'язки між отриманим результатом та поточними задачами споживача [2, 3].

Побудова пояснення полягає у формуванні спрощеного опису процесу вирішення задачі у інтелектуальній системі з тим, щоб користувач міг, базуючись на знаннях щодо предметної області, сформулювати для себе причини отриманого інтелектуальною системою рішення. Пояснення відображає приховані шаблони та закономірності у процесі отримання рішення інтелектуальною системою. Тому задача побудови пояснення є окремим випадком задачі виявлення патернів. Інтерпретація цих патернів виконується користувачами ІС з використанням базових знань щодо предметної області. Базові знання характеризують об'єкти та процеси, що протікають у визначеній предметній області.

Тому задача побудови пояснення є окремим випадком задачі виявлення патернів. Інтерпретація цих патернів виконується користувачами ІС з використанням базових знань щодо предметної області. Базові знання характеризують об'єкти та процеси, що протікають у визначеній предметній області.

Такі знання дають можливість інтерпретувати та використовувати патерни пояснень. Частково такі знання є неявними, оскільки вони задають зв'язок між відомими з практики індивідуума фактами, подіями, процедурами та представлені не в документах, а в пам'яті людини [4]. Таким чином, побудова патернів пояснень потребує узгодження знань у складі пояснень із базовими знаннями предметної області, що і визначає актуальність теми даного дослідження.

Методи представлення пояснень в ІС використовують ідеї витлумачень за допомогою експертних правил або прецедентів [5]. Підходи до використання специфічних для предметної області, а також темпоральних знань при вирішенні задачі побудови пояснень в рекомендаційних системах розглядалися в роботах [6-10].

Для рекомендаційних систем знання про предметну область містять характеристики користувачів та рекомендованих предметів.

Темпоральні знання описують зміни вподобань користувачів з часом. Характер цих знань визначає спосіб побудови інтерфейсу для представлення пояснень користувачеві [11].

Узагальнений підхід до узгодження знань представлено в роботах [12]. Сутність даного підходу полягає у виділенні підмножин узгоджених та неузгоджених залежностей. Елементи першої підмножини попарно пов'язані відношенням узгодження. При побудові пояснень в якості такого відношення виступає відношення пояснення. Для пари елементів знань, в якій один із елементів належить до множини неузгоджених знань, є істинним відношенням неузгодження знань.

Наприклад, такі знання можуть бути несумісними із базовими знаннями щодо предметної області. Тобто дані відношення є обмеженнями, що визначають порядок відбору елементу знань до першої або другої підмножини [13].

Ключова умова формування множини узгоджених знань полягає у формальному визначенні відношення узгодження [14, 15]. Підходи до визначення даного відношення значною мірою залежать від аспекту, в якому розглядаються множини узгоджених та неузгоджених знань. Зокрема, у темпоральному аспекті узгоджені знання мають визначати однакову зміну властивостей об'єктів та процесів у предметній області з часом.

Наприклад, зростання або зменшення продажів в системі електронної комерції. У технічному аспекті пояснення показує переваги від використання отриманих результатів для вирішення задач користувача.

Тобто такі підходи дають можливість на основі пояснення порівняти існуючі рішення та нові рішення, що запропонувала інтелектуальна інформаційна система. Однак вони не задають обмеження на пояснення. Використання обмежень дозволить відкинути ті патерни, що суперечать поточному стану або динаміці стану предметної області.

Задача визначення таких обмежень на основі узгодження знань у складі пояснення та базових знань щодо предметної області потребує свого вирішення.

Метою статті є розробка методу узгодження пояснень в інтелектуальній інформаційній системі з урахуванням обмежень, що визначаються базовими знаннями щодо об'єктів та процесів у предметній області.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- структуризація процесу побудови пояснень з урахуванням обмежень знань щодо предметної області;
- визначення аспектів узгодження пояснення;
- розробка методу узгодження знань щодо пояснення та предметної області.

Структуризація процесу побудови пояснень з узгодженням знань

Традиційний процес виявлення патернів передбачає побудову елементів знань на основі виявлення залежностей в даних [16].

Побудова патернів пояснень потребує додаткового узгодження знань. Такий процес включає в себе в наступні етапи (рис. 1):

- попередня обробка даних;
- формування множини можливих патернів пояснення;
- пост-обробка: узгодження пояснень;
- вибір результуючого пояснення.

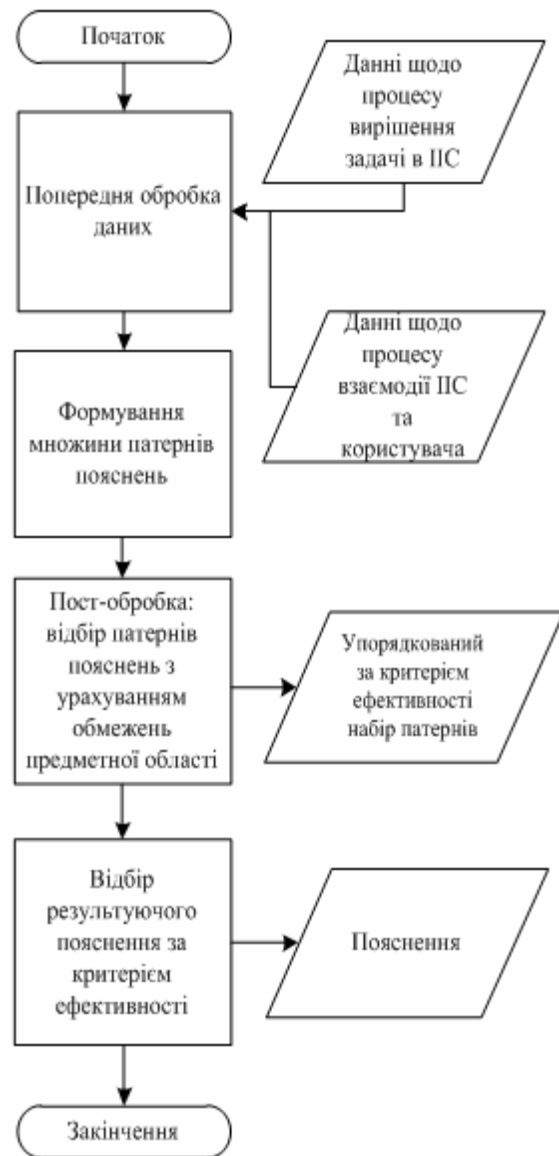


Рис. 1. Процес побудови пояснень в ІС

На першому етапі виконується фільтрація вхідних даних, що будуть використані для побудови пояснення.

На другому етапі проводиться виявлення набору патернів, що відображають різні закономірності процесу отримання рішення. Такі патерни можуть бути отримані з набору даних, що описує роботу інтелектуальної системи або процес її взаємодії з користувачами.

На третьому етапі множина отриманих патернів узгоджується, фільтрується та упорядковується. Фільтрація та упорядкування відбувається, відповідно, з урахуванням обмежень та інтегральної оцінки патернів.

Обмеження задають узгодженість знань патерну із знаннями щодо предметної області.

Показник інтегральної оцінки патернів може враховувати особливості предметної області або можливості застосування пояснення.

В першому випадку показник формується в залежності від задачі, яку вирішує інтелектуальна система.

В другому випадку в якості інтегрального показника може виступати ефективність імплементації пояснення. Остання визначає ймовірність використання пояснення при вирішенні задач користувача.

Наприклад, для рекомендаційної системи ймовірнісний показник поточного пояснення відображає ймовірність того, що користувач вибере саме той товар, для якого було сформовано пояснення.

Узгодження пояснення у аспектах знань, даних та рішення ІС

Пояснення, що формується у відповідності до представленого в попередньому підрозділі процесу побудови пояснень, має такі властивості (рис. 2):

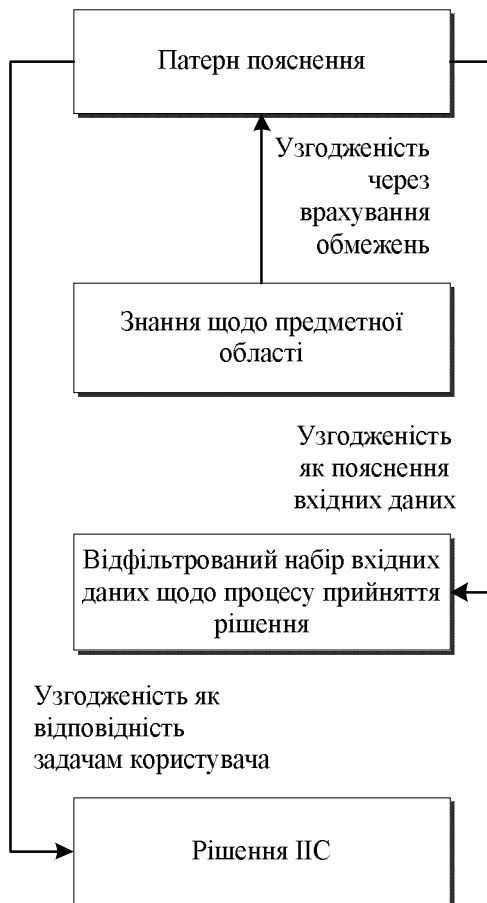


Рис. 2. Узгодження пояснення в ІС

– спрощене відображення послідовності прийняття рішення в інтелектуальній інформаційній системі;

– зрозумілість для користувача інтелектуальної інформаційної системи в сенсі відсутності протиріччя із знаннями щодо предметної області;

– узгодженість із вхідними даними щодо процесу прийняття рішення або взаємодії із користувачем в сенсі їх тлумачення;

– узгодженість із задачами користувача (тобто у технічному аспекті).

Модель пояснення із наведеними властивостями має такі структурні особливості, які є суттєвими для методу узгодження пояснень:

– патерни задовольняють обмеженням узгодженості із вхідними даними та знаннями щодо предметної області;

– узгодженість патерну пояснення із отриманим інформаційною системою результатом та знаннями предметної області [17].

Метод узгодження пояснень із базовими знаннями щодо предметної області

Розроблений метод узгодження пояснень базується на ідеї дедуктивного уточнення та узгодження знань.

Даний метод передбачає інтерактивне коригування множин знань та даних з урахуванням їх відповідності результату роботи інформаційної системи та поясненню щодо цього результату. Тобто знання щодо предметної області можуть мати протиріччя і також можуть не відповідати задачам користувача. При реалізації методу такі знання видаляються із подальшого розгляду.

Результатом методу є множини знань та пояснень які є узгодженими між собою. В подальшому процесі відбору результуючого пояснення множина узгоджених знань може бути використана для вибору із набору пояснень із однаковими або близькими показниками ефективності.

Метод містить такі етапи.

Етап 1. Узгодження даних із процесу прийняття рішення в інтелектуальній інформаційній системі з знаннями щодо предметної області.

На даному етапі відбираються лише ті знання щодо предметної області, які використовують дані із вхідного набору для формування пояснень.

Крок 1.1. Перевірка узгодженості знань з предметної області B та поточних даних $d \in D$ щодо процесу прийняття рішення в інтелектуальній інформаційній системі.

Дана перевірка встановлює можливість використання базових знань щодо об'єктів та процесів у предметній області у випадку її опису змінними та їх значеннями із d . Кожен елемент b знань про предметну область має бути істинними (не мати протиріччя) у моделі предметної області, що представлена сукупністю знань B :

$$(\forall b) B, d | = b. \quad (1)$$

Згідно (1) формалізовані залежності щодо поведінки предметної області мають виконуватись для вхідних даних d .

Якщо дана умова виконується, то дані щодо процесу прийняття рішення відповідають системі знань про предметну область і відбувається перехід до етапу 2.

В протилежному випадку виконується крок 1.2.

Набір знань про предметну область частково залежить від потреб користувача ІС. Тому він може бути уточнений в залежності від результату роботи інтелектуальної інформаційної системи.

Крок 1.2. Уточнення знань щодо предметної області у відповідності до отриманого ІС рішення.

На даному кроці склад множини B коригується таким чином, щоб умова (1) виконувалась для кожного елемента знань:

$$B = \{b : (\forall b) B, d | = b\}. \quad (2)$$

Крок 1.3. Узгодження знань із підмножини B із результатом r роботи ІС. На даному кроці перевіряється умова:

$$B | = r. \quad (3)$$

Згідно (3), всі елементи знань (наприклад, правила) мають відповідати результату r , не мати з ним протиріч. Тобто результат r відповідає моделі предметної області, представленій сукупністю знань B .

Наприклад, в рекомендаційній системі знання про предметну область можуть визначати умови використання товару (професійний, побутовий). Процес побудови рекомендацій враховує інтереси користувача.

Такі інтереси визначаються на основі аналізу його минулих покупок, а також покупок схожих на нього за поведінкою користувачів. Тому у випадку наявності базових знань про те, що користувач цікавиться професійним обладнанням, узгоджена результуюча рекомендація має містити товари з професійними характеристиками.

При виконанні умови відбувається перехід до етапу 2. У випадку неузгодженості, якщо умова (3) не виконується, то результат ІС недоцільно пояснювати з використанням наявних базових знань. Робота методу на цьому кроці завершується.

Еман 2. Узгодження пояснення $e \in E$ із знаннями щодо предметної області.

Крок 2.1 Перевірка істинності пояснення для поточного стану процесів у предметній області, що представлений набором даних d :

$$B, d | = e. \quad (4)$$

Згідно (4), пояснення e має відповідати (бути істинним) в рамках моделі знань B для стану об'єктів та предметів d .

Якщо умова (4) не виконується, то це означає, що спрощений опис процесу прийняття рішення в ІС не використовує ряд елементів вхідного набору даних. Тому при узгодженні ці елементи доцільно видалити із множини d .

Крок 2.2. Уточнення набору d .

Даний крок виконується у випадку невиконання умови (4). Результуюча множина d містить елементи d_i , для яких виконується умова:

$$d = \{d_i : (\forall i) B, d_i | = e\}. \quad (5)$$

Еман 3. Узгодження пояснення з результатом, отриманим ІС.

На даному етапі перевіряється істинність результату у моделі пояснення, узгодженої із знаннями про предметну область з урахуванням її поточного стану.

$$e \wedge (B, d) | = r. \quad (6)$$

Невиконання даної умови свідчить про порушення властивості транзитивності для відношення узгодження між знаннями, даними та результатом. Причинами такого порушення можуть бути зміни у складі множин B та d внаслідок уточнення знань (2) або уточнення даних (5). Відповідно, у випадку невиконання умови (6) відбувається перехід на етап 1 для подальшого уточнення знань. У випадку неможливості подальшого узгодження знань метод завершує свою роботу.

У випадку, якщо умова (6) виконується, то пояснення є узгодженим із знаннями щодо предметної області.

Результат виконання методу в подальшому використовується у процесі формування пояснень.

Висновки

Розглянуто проблему узгодження знань при побудові патернів пояснень. Дана проблема виникає при формуванні набору патернів для тлумачення отриманого інтелектуальною інформаційною системою результату.

При виборі фінального пояснення із існуючого набору необхідно враховувати відповідність пояснення знанням щодо предметної області. Такі знання виступають в ролі обмежень, що дають можливість виключити неузгоджені пояснення, які не мають практичного сенсу для споживача.

Виконано структурування процесу побудови пояснень з урахуванням етапу узгодження знань.

Виділено аспекти узгодження знань пояснення із вхідними даними в сенсі тлумачення цих даних, із результатом роботи інтелектуальної інформаційної системи в сенсі узгодження з задачами користувача, а також із знаннями предметної області в сенсі необхідних та достатніх умов використання пояснення.

Запропоновано метод узгодження пояснення із знаннями щодо предметної області. Метод передбачає перевірку можливості отримання пояснення з використанням даних з процесу прийняття рішень, узгодженого із знаннями щодо предметної області, перевірку узгодженості пояснення із знаннями щодо предметної області, а також узгодження результату роботи інтелектуальної системи з поясненням.

В практичному плані метод дає можливість сформулювати підмножину допустимих пояснень, що не має протиріч із знаннями щодо предметної області. Фінальне пояснення може бути вибрано із цієї підмножини за критерієм ефективності, що враховує особливості задач, які вирішує користувач інтелектуальної інформаційної системи.

REFERENCES

1. Miller T. (2019). Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. *Artificial Intelligence*, 267, pp. 1-38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007>.
2. Tsai C., Brusilovsky P. (2019). Explaining recommendations in an interactive hybrid social recommender. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp. 391-396.
3. Dominguez V., Messina P., Donoso-Guzmán I., Parra D. (2019). The effect of explanations and algorithmic accuracy on visual recommender systems of artistic images. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19)*, pp. 408-416.
4. Wooley, B. A. (1998). Explanation component of software system. *Crossroads*, 5(1), pp. 24–28.
5. Cunningham P., Doyle D., Loughrey J. (2003). An evaluation of the usefulness of case-based reasoning explanation. *Proceedings of the International Conference on Case-Based Reasoning*, Trondheim, Springer, pp. 122–130.
6. Cleger S., Fernández-Luna J., F Huete J. Learning from explanations in recommender systems. *Information Sciences*, 2014, 287, pp. 90–108.
7. Chalyi S., Leshchynskyi V., Leshchynska I. (2019). Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, pp. 34-40. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00952.
8. Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2019). Моделювання пояснень щодо рекомендованого переліку об'єктів з урахуванням темпорального аспекту вибору користувача. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 6 (58), 97-101.
9. Chalyi, S., Leshchynskyi, V. (2020). Method of constructing explanations for recommender systems based on the temporal dynamics of user preferences. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 43-50. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001228.
10. Cleger S., Fernández-Luna J., F Huete J. (2014). Learning from explanations in recommender systems. *Information Sciences*, 287, pp. 90–108.
11. Daher J, Brun A., Boyer A. A. (2017). Review on Explanations in Recommender Systems. Technical Report. LORIA Université de Lorraine, 26 p.
12. Thagard P. (2007). Coherence, truth, and the development of scientific knowledge. *Philosophy of Science*, 74, pp. 28-47.
13. Thagard P. (2004). Causal inference in legal decision making: Explanatory coherence vs. Bayesian networks. *Applied Artificial Intelligence*, 18, pp. 231-249.
14. Thagard P., Verbeugt K. (1998). Coherence as constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 22, pp. 1-24.
15. Thagard P. (2010). Causal inference in legal decision making: explanatory coherence vs. Bayesian networks. *Applied Artificial Intelligence*, 18:3-4, 231-249. DOI: <https://doi.org/10.1080/08839510490279861>.
16. Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., and Smyth, P. (1996). From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI magazine*, 17(3), 37.
17. Чалий С. Ф., Лещинський В. О., Лещинська І. О. (2020). Модель пояснення в інтелектуальній інформаційній системі на основі концепції узгодженості знань. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, 1 (3), 19-23.

Received (Надійшла) 06.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.02.2021

Coordinating the explanation in the intellectual information system with the background knowledge

S. Chalyi, V. Leshchynskyi, I. Leshchynska

Abstract. The **subject matter** of the article is the processes of constructing explanations for the solutions proposed by the intelligent information system. **The goal** is to develop a method for coordinating explanations in an intelligent information system, taking into account the constraints that are determined by basic knowledge about objects and processes in the subject area. **Tasks:** structuring the process of constructing explanations, taking into account the limitations in the form of knowledge about the subject area; highlighting the aspects of the agreement of the explanation; development of a method for harmonizing knowledge regarding the explanation and the subject area. **The approaches** used are: approaches to constructing explanations, approaches to harmonizing knowledge. The following results were obtained. The structuring of the process of constructing explanations was carried out, taking into account the stage of knowledge coordination. The aspects of the coordination of the knowledge of the explanation with the input data in the sense of using data for interpretation, with the solution obtained by the intelligent information system in the sense of matching with the user's tasks, as well as with the knowledge of the subject area in the sense of restrictions for the use of the explanation, are highlighted. A method for reconciling the explanation with knowledge about the subject area is proposed. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows. A method for matching the explanation with basic knowledge about objects and processes in the subject area is proposed. The method provides for iterative execution of the sequence of reconciliation of data on the decision-making process in an intelligent system with knowledge describing the subject area, checking the consistency of the developed explanation with a lot of knowledge about the subject area, as well as reconciling the explanation with the resulting solution of the intelligent information system. In practical terms, the method is focused on the formation of a subset of explanations, does not contradict the basic one with knowledge of the subject area. The explanation in the composition of this set can be further ordered according to the criterion of efficiency, taking into account the peculiarities of the tasks for the solution of which the solutions are formed by the intelligent system.

Keywords: background knowledge; consistency of knowledge; intelligent information system; explanations, explanation patterns.

А. С. Янко, В. М. Звездін

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ СТИСНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ ТАБЛИЧНИХ СТРУКТУР

Анотація. Розглянуто властивості непозиційної системи числення в системі залишкових класів (СЗК): незалежність залишків, рівноправність залишків і малорозрядність залишків. Використання основних властивостей СЗК дає можливість створення ефективних методів контролю, діагностики та виправлення помилок даних при введенні мінімальної інформаційної та часової надмірності, і побудови відмовостійких і швидкодіючих комп'ютерних систем обробки даних (КСОД) реального часу. Основна властивість СЗК, а саме малорозрядність залишків дозволяє застосовувати табличні методи реалізації арифметичних операцій. При застосуванні методів спеціального кодування інформації в СЗК, здійснюється скорочення таблиць ПЗП, стиснення даних та зменшення кількості необхідного обладнання. На основі даних досліджень було розроблено методи та алгоритми стиснення інформаційних даних табличних структур у СЗК.

Ключові слова: комп'ютерна система обробки даних, непозиційна кодова структура, система залишкових класів, система числення, табличний принцип.

Вступ

Зростаючі вимоги до сучасних комп'ютерних систем обробки даних (КСОД) зумовлюють необхідність постійного пошуку, розробки та впровадження методів швидкої обробки даних. Необхідно відзначити що, незважаючи на інтенсивний розвиток сучасних інформаційних технологій, що застосовуються при створенні апаратно-програмних засобів КСОД, в даній області залишається багато не вирішених науково-технічних завдань і проблем. В системах залишкових класів (СЗК) кожне число, представляється у вигляді декількох малорозрядних позиційних чисел, які є залишками від ділення вихідного числа на взаємно прості основи. У звичайній позиційній двійковій системі виконання операцій (наприклад, складання двох чисел) відбувалося послідовно за розрядами, починаючи з молодшого. При цьому утворюється перенесення в наступний старший розряд, що і визначає порозрядну послідовність обробки. В СЗК з'явилася можливість розпаралелити цей процес: всі операції над залишками в кожній основі виконуються окремо і незалежно (паралельно), отже, в зв'язку з їх малою розрядністю, нескладно і швидко. Мала розрядність залишків забезпечує можливість реалізації табличної арифметики, при якій результат операції не вираховується кожен раз, а, одного разу розрахований, поміщається в пам'ятовуючий пристрій (ЗП) і при необхідності зчитується з нього, тобто, операція в СЗК при табличній арифметиці виконується за один період синхронізуючої частоти (машинний такт).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні публікації останніх років свідчать про те, що перспективи створення КСОД реального часу на основі використання системи залишкових класів (СЗК) відкриває широкі можливості використання комп'ютерних систем з високим ступенем стиснення даних за рахунок основних властивостей системи числення і розпаралелювання процесу обробки цілочисельних даних. Результати досліджень в області створення швидкодіючих КСОД відомих авторів (Валаха М., Свободи А., Сабо Н., Акушського І. Я., Юдицького Д. І., Николайчука Я. М., Долгова О. І., Торгашо-

ва В. А., Амербаєва В. М., Shimbo A., Paulier P., Thornton M. A., Dreschler R., Miller D. M. та ін.) показали, що використання СЗК як системи числення КСОД, призначеної для реалізації цілочисельних арифметичних операцій додавання, віднімання і множення чисел, в додатному числовому діапазоні, істотно підвищує швидкодію вирішення задач певного класу, а методи, алгоритми та засоби реалізації арифметичних операцій на основі табличного принципу дозволяють не лише час підвищити швидкодію виконання операцій, а зменшити об'єм даних (зжати інформаційні потоки даних). За останні роки були розроблені наступні КСОД в СЗК: бортовий комп'ютер Star (США); спеціалізовані процесори ДПФ (США, Південна Корея); ряд військових спеціалізованих бортових комп'ютерів (США, Японія); спеціалізовані процесори ЦГЗ (США); комп'ютери Sprint для робототехніки (США, Японія); в китайській компанії "Trn Display Technology (Wuhan, China) Co., Ltd" при розробці та впровадженні бездротової сенсорної мережі системи контролю стану промислового устаткування при виготовленні моніторів; на підприємстві ТОВ "Релком-Поділля" при розробці системи відеоспостереження на основі бездротових мультимедійних сенсорних мереж; в корпорації "Cypress Semiconductors" при розробці апаратно-програмного забезпечення для модулів CY8CKIT-050 PsoC 5 і CyFi (CYRF7936), які можуть бути використані в бездротових сенсорних мережах [1].

Метою статті є розробка методів та алгоритмів стиснення інформаційних даних на основі табличного принципу з використанням властивостей непозиційних кодових структур у СЗК з урахуванням зменшення кількості необхідного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Дослідження впливу основних властивостей системи залишкових класів на архітектуру та принципи функціонування спеціалізованих процесорів. Із вищезгаданих прикладів випливають основні властивості системи залишкових класів:

- 1) незалежність залишків;
- 2) рівноправність залишків;
- 3) малорозрядність залишків.

Розглянемо як ці властивості впливають на структуру та принцип функціонування спеціалізованого обчислюваного пристрою [2].

1) *Незалежність залишків* дає можливість побудови ЕОМ у вигляді набору (по числу залишків СЗК) інформаційно-незалежних трактів, що працюють паралельно у часі при такій побудові ЕОМ обчислювана система в СЗК має модульність конструкції, що дозволяє здійснювати ремонт і технічне обслуговування не перериваючи розв'язування задач, і для здійснення профілактичних заходів ЕОМ не потрібен висококваліфікований обслуговуючий персонал. Окрім цього помилки, що виникли у тракті m_i , не “розмножуються” в інші тракти ЕОМ, при цьому байдуже чи мала місце на цій підставі однократна чи багаторазова, чи навіть пачка помилок довжиною більш $m_i - 1$ двійкових розрядів. Таким чином, помилка, що виникла в довільному тракті m_i ЕОМ у СЗК або збережеться в цьому тракті до кінця обчислень або у процесі подальших обчислень самоусунеться (наприклад, якщо після виникнення збою в залишку a_i проміжний результат стане числом, що має нульову цифру в залишку по m_i). У цьому випадку за допомогою СЗК можна побудувати систему виправлення помилок при введенні мінімальної надлишковості, що використовує динаміку обчислювального процесу, увівши поняття альтернативної сукупності.

Основна ідея визначення помилкового залишку $a_i = a_i + \Delta a_i$ полягає в тому, що для одержаної в результаті операції послідовності неправильних операндів A_i ($i = 1, 2, 3, \dots, \rho$) у динаміці обчислювального процесу, не перериваючи розв'язання задачі, послідовно визначаються умовні альтернативні сукупності $W(A) = W_{i-1}(A) \wedge W_i(A)$. За визначений час умовна альтернативна сукупність стягується до помилкового залишку (або двох залишків m_i і m_n). Після цього відомими методами проводиться корекція спотвореного залишку a_i . Відмінною рисою даного методу корекції помилок є можливість виправляти помилки без зупинки обчислень, що можливо для ЕОМ, які функціонують в реальному часі. Детальне дослідження розглянутої особливості СЗК дозволяє зробити висновки про те, що пристрої, які функціонують у СЗК, відносяться до таких об'єктів, які легко контролювати і легко діагностувати. Відзначена особливість ЕОМ, що функціонує в СЗК, сприяє розробці ефективних методів контролю і діагностики.

2) *Рівноправність залишків*. Будь-який залишок a_i числа A_k у СЗК несе інформацію про все вихідне число, що дає можливість чисто програмними методами замінити спотворений тракт по модулю m_i на справний (контрольний) тракт по модулю m_i ($m_i < m_i$), не перериваючи розв'язання задачі. Окрім того, ЕОМ в СЗК з двома контрольними основами зберігає свою працездатність при відмові будь-яких двох обчислювальних трактів. При виникненні третьої чи навіть четвертої відмови, ЕОМ все ще може виконувати програму при деякому зменшенні точності чи швидкості обчислень, тобто ЕОМ в СЗК є винятково “живучою”, наближаючись в цьому плані до живих організмів. Відзначимо, що дана особливість обумовлює одну із самих чудових властивостей СЗК: та сама ЕОМ може мати різну надійність при розв'язанні за-

дач в залежності від вимог, які висуваються до точності, обсягу пам'яті і швидкодії машини при їх розв'язанні, тобто в процесі розв'язання різних задач на ЕОМ у СЗК можливе здійснення “обмінних” операцій між точністю, швидкістю і надійністю.

3) *Малорозрядність залишків* дозволяє застосовувати табличні методи реалізації арифметичних операцій. У цьому випадку більшість арифметичних операцій здійснюється за один такт, що різко підвищує швидкість використання раціональних операцій. Одночасно табличні методи використання арифметичних операцій дозволяють створити на базі матричних схем високонадійні обчислювальні пристрої [3].

Отже, розглянуті властивості СЗК, при використанні її в операційному пристрої (ОП), дозволяють значно підвищити ефективність функціонування ЕОМ. Розробка методів та алгоритмів стиснення інформаційних даних табличних структур. Під табличною реалізацією табличних операцій $c_i = f(a_i, b_i)$ розуміється організація такої таблиці, в якій кожній комбінації вхідних величин a_i та b_i відповідає одне і тільки одне значення вихідної величини c_i . Нехай $[0, X]$ – діапазон зміни величини a_i ; $[0, Y]$ – діапазон зміни величини b_i ; $[0, Z]$ – діапазон зміни величини c_i . У цьому разі основні характеристики таблиць будуть представлені таким чином:

– надлишковість таблиці:

$$I = X^2 - Z; \quad (1)$$

– коефіцієнт використання таблиці:

$$\gamma = (Z / X^2) \cdot 100\%; \quad (2)$$

– коефіцієнт надлишковості таблиці:

$$W = (X^2 / Z) \cdot 100\%. \quad (3)$$

В подальшому будуть розглянуті методи, які дозволяють покращити основні характеристики таблиць арифметичних операцій в СЗК. Пошук шляхів спрощення структури ЕОМ привів до необхідності побудови алгоритмів реалізації модульних операцій, які дозволяють підвищити ефективність застосування табличної арифметики [4].

Розглянемо алгоритм реалізації операції модульного множення. Складемо таблицю із числових значень $a_i \cdot b_i \pmod{m_i}$. Ця таблиця симетрична відносно діагоналей, вертикалі і горизонталі, що проходять між числами $(m_i - 1)/2$ і $(m_i + 1)/2$. Симетричність таблиці відносно лівої діагоналі визначається комутативністю операції множення, симетричність відносно правої діагоналі визначається тим, що:

$$(m_i - a_i)(m_i - b_i) \equiv a_i b_i \pmod{m_i}. \quad (4)$$

Симетричність відносно вертикалі і горизонталі визначається із умови кратності суми симетричних чисел:

$$a_i b_i + a_i (m_i - b_i) \equiv 0 \pmod{m_i}; \quad (5)$$

$$a_i b_i + b_i (m_i - a_i) \equiv 0 \pmod{m_i}. \quad (6)$$

Щоб відновити таблицю модульного множення $a_i \cdot b_i \pmod{m_i}$, достатньо мати числову інформацію тільки про восьму її частину. Звідси випливає можливість скорочення таблиці (кількості схем співпадання ПЗП) модульного множення. Відмітимо, що зменшення таблиці у вісім разів призводить до необхідності проведення попереднього аналізу величин вхідних

операндів a_i і b_i , що збільшує час реалізації арифметичної операції. Для найбільш ефективної реалізації операції $a_i \cdot b_i \pmod{m_i}$ застосовуються методи спеціального кодування, які дозволяють в чотири рази зменшити таблицю множення. Розв'язання поставленої задачі можливе в результаті застосування спеціальних кодів. Розглянемо варіант виконання операції модульного множення з допомогою коду табличного множення [5].

Нехай дано вхідні операнди a_i і b_i . Значення a_i (b_i), що лежать в діапазоні $[0; (m_i - 1)/2]$, можуть бути закодовані довільним способом, а значення a_i (b_i), що лежать в діапазоні $[(m_i + 1)/2; m_i - 1]$, кодуються як $m_i - a_i$ ($m_i - b_i$). Для розрізнення діапазонів вводиться індекс:

$$\gamma_a(\gamma_b) = 0, \text{ якщо } 0 < a_i(b_i) < \frac{m_i-1}{2}; \quad (7)$$

$$\gamma_a(\gamma_b) = 1, \text{ якщо } \frac{m_i+1}{2} < a_i(b_i) < m_i - 1. \quad (8)$$

Алгоритм визначення результату операції модульного множення з допомогою коду табличного множення (КТМ) наступний: якщо задано два операнди в КТМ $a_i = (\gamma_a, a_i')$, $b_i = (\gamma_b, b_i')$, то для того, щоб отримати добуток цих чисел по модулю m_i , достатньо знайти добуток $a_i' \cdot b_i' \pmod{m_i}$ і інвертувати його узагальнений індекс γ_b , якщо γ_a відрізняється від γ_b , тобто:

$$a_i \cdot b_i \pmod{m_i} = (\gamma_i \cdot a_i' \cdot b_i' \pmod{m_i}), \quad (9)$$

При використанні даного алгоритму ПЗП, який реалізує операцію модульного множення, таблиці конструктивно зменшуються в чотири рази. При виконанні операції табличними методами в де яких випадках можливе додаткове зменшення обладнання за

рахунок того, що будується не єдина таблиця для модульних операцій, а k значно менших таблиць, які дозволяють дати відповіді по кожному з k розрядів результату, де k – розрядність регістра, що необхідна для зберігання цифри по основі, яка розглядається [6].

Висновки

Основна властивість СЗК, а саме малорозрядність залишків дозволяє застосовувати табличні методи реалізації арифметичних операцій. У цьому випадку більшість арифметичних операцій здійснюється за один такт, що різко підвищує швидкодію використання раціональних операцій. Одночасно табличні методи використання арифметичних операцій дозволяють створити на базі матричних схем високонадійні обчислювальні пристрої КСОД. При застосуванні методів спеціального кодування інформації в СЗК, метою яких являється скорочення таблиць ПЗП, які реалізують табличні операції. Кількість обладнання при табличній побудові ОпП у СЗК скорочується мінімум в два рази в порівнянні з аналогами реалізованими на елементній базі з використанням двійкової позиційної системи числення. Також при виконанні модульної операції можливе додаткове скорочення обладнання за рахунок організації не єдиної таблиці (ПЗП), яка реалізує результат операції в машинному коді, а значно менших таблиць, які дають відповіді по кожному із k розрядів, де k – розрядність регістра, що необхідна для зберігання цифри за основою, яка розглядається.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виноградов И.М. Основы теории чисел. – Наука, 1981. – 176 с.
2. Акушкин И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 444 с.
3. Торгашев В.А. Система остаточных классов и надежность ЭВМ. – М.: Сов. Радио, 1973. – 118 с.
4. Барсов В.И., Краснобаев В.А., Фурман И.А., Малиновский М.Л., Шевченко В.В. Система обработки информации и управления АСУ ТП на основе применения кодов в модулярной арифметике. Х.: МОН, УИПА, 2009. 159 с.
5. В. А. Краснобаев, С. В. Сомов, А. С. Янко. Основные свойства непозиционной системы счисления // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – Вип. 1 (25). – С. 110–113.
6. Krasnobayev V., Yanko A. and Koshman S. A. Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system. Cybernetics and Systems Analysis, vol. 52, Issue 1, 2016, pp. 145–150.

Received (Надійшла) 18.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2021

Development of methods and algorithms for compressing information data of tabular structures

A. Yanko, V. Zvezdin

The properties of the non-positional number system in the system of residual classes (SRC) are considered: independence of residues, equality of residues and low-bit residuals. Use of the main properties of SRC gives the chance to create effective methods of control, diagnostics and correction of errors of data at introduction of the minimum information and time redundancy, and construction of fault-tolerant and high-speed computer systems of data processing (CSDP) of real time. The research of influence of the basic properties of SRC on architecture and principles of functioning of modern CSDP is considered. The main property of SRC, namely low-bit residuals allows you to use tabular methods of arithmetic operations. In this case, most arithmetic operations are performed in one cycle, which dramatically increases the speed of rational operations. At the same time, tabular methods of using arithmetic operations allow to create on the basis of matrix schemes highly reliable computing devices of computer data processing systems. When applying the methods of special coding of information in SRC, the purpose of which is to reduce the tables of RAM that implement tabular operations. The amount of equipment in the tabular construction of the operating device in the SRC is reduced by at least twice in comparison with analogues implemented on an element basis using a binary positional number system. Also, when performing a modular operation, it is possible to further reduce the equipment by organizing not a single table (RAM), which implements the result of the operation in machine code, but much smaller tables that give answers for each of the k bits, where k – is the bit size required for storing the figure on the basis under consideration. Based on the research data, methods and algorithms for compressing information data of tabular structures in SRC were developed.

Keywords: computer data processing system, non-positional code structure, number system, system of residual classes, tabular principle.

В. А. Глива¹, В. Є. Кашперський¹, О. В. Панова², Я. І. Бірук², С. В. Зозуля¹

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Анотація. У роботі проаналізовано можливість оцінювання ризиків для здоров'я працюючих під впливом електромагнітних полів широкого частотного діапазону. З'ясована невизначеність статистичних та клінічних даних щодо причинно-наслідкового зв'язку між електромагнітним впливом та несприятливими зрушеннями у здоров'ї працюючих. Ця невизначеність обумовлює значні розбіжності у різних нормативних актах з електромагнітної безпеки. Показано, що потребує конкретизації вимога ВООЗ щодо максимально можливого зниження рівнів полів та випромінювань. Коефіцієнтом для добровільного ризику в умовах обізнаності про наявність техногенних електромагнітних впливів складає 10^{-3} - 10^{-4} . Застосувавши ці коефіцієнти до гранично допустимих напруженостей електричних та магнітних полів наднизьких частот та щільностей потоків енергії електромагнітних полів ультрависоких частот отримуються кількісні значення, які відповідають рівням полів у середньостатистичному помешканні. Очевидно, що це є межа, нижче якої зниження рівнів електромагнітних полів є недоцільним. Наведений підхід не можна вважати беззаперечним, але він певним чином конкретизує загальну вимогу зниження рівнів електромагнітних полів до технічно досяжних рівнів.

Ключові слова: умови праці, стандарти безпеки, електромагнітне поле, широко-частотний діапазон, охорона праці, ризики.

Вступ

Сучасною тенденцією у оцінюванні можливих несприятливих впливів на здоров'я людей у виробничих та побутових умовах є ризик – орієнтований підхід. Перевагою такого підходу є можливість кількісно визначити імовірність нанесення шкоди здоров'ю внаслідок впливу техногенних чинників виробничого та навколишнього середовища. Більшість таких розрахунків базуються на надійних статистичних даних щодо кількості та переліку виробничих травм, професійних захворювань тощо. Але у багатьох випадках дані щодо шкідливого впливу техногенних факторів обмежені або суперечливі. Наприклад, це стосується електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Тому, Всесвітня організація охорони здоров'я розповсюдила на електромагнітні впливи принцип ALAR (As low as reasonable – принцип застереження – «наскільки низький, наскільки можливо»). Мінімізація техногенного впливу безумовно сприяє збереженню здоров'я працюючих, але вимагає великих витрат, які у багатьох випадках непосильні або необґрунтовані. Тому в умовах невизначеності впливу на людей фізичних техногенних факторів доцільне оцінювання ризиків з точки зору максимально допустимого впливу з використанням гранично допустимих рівнів електромагнітних полів, як містяться у основних нормативних актах.

Огляд літературних джерел. На сьогоднішній день визначення ризиків та керування ними регламентуються кількома міжнародними та національними нормативами. У стандарті [1] представлено засади ризик – менеджменту організацій і підприємств – принципи й концептуальні керівництва управління ризиками будь-яких організацій і підприємств. Цей документ не надає можливостей визначити ризики кількісно. Національний стандарт [2] дещо конкретизує міжнародний норматив 31000 надаючи методи оцінювання ризику: мозковий штурм, метод Делфі, аналіз небезпек, екологічного ризику, дерево рішень, метод Монте-Карло, матриця наслідок – вірогідності тощо. Для отримання кількісних даних щодо ризиків наведеними методами потрібно вихідні дані, але за їх відсутності або обмеженості, розрахунки неможливі. У першу чергу це стосується факторів, які інструментально визначаються кількісно, наприклад, електромагнітних полів. Втім документ ВООЗ, яким розповсюджено принципи ALAR та неіонізуючі випромінювання [3] також не містить конкретики щодо розрахунків ризиків. Існують методичні рекомендації щодо розрахунків ризиків впливу техногенних електромагнітних полів [4]. Але у ньому надано методологію розрахунків ризиків захворювання лейкозом, гліомою та менінгіомою.

Це пояснюється наявністю достатніх клінічних даних, які пов'язують захворювання з експозицією змінних електромагнітних полів (в основному – ультрависоких частот). Більшість сучасних досліджень щодо розрахунків від несприятливих впливів виробничого середовища стосуються підприємств з високими рівнями травматизму – машинобудівних, транспортних, гірничих [5,6]. Щодо впливу електромагнітних полів, то навіть сучасні підсумкові звіти з проблематики визначення ризиків констатують невизначеність, пов'язану з браком надійних клінічних даних та їх неоднозначність [7]. Таким чином потребує пошуку шляхів визначення виробничих ризиків, пов'язаних із впливом електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

Мета статті – розроблення підходів до оцінювання ризиків, для здоров'я людей пов'язаних із впливом фізичних факторів техногенного походження, в основному електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

Виклад основного матеріалу

Мінімізація ризиків для здоров'я людей у виробничих та побутових умовах майже в усіх сферах діяльності базується на статистичних даних щодо кількості та причин смертельних випадків, травмування, професійних захворювань тощо. Але щодо фізичних факторів техногенного походження, таких як електромагнітні поля, потрібні дані «доза–ефект» або відсутні, або неоднозначні. Саме тому ВООЗ розповсюдило принцип ALAR на неіонізуючі поля та випромінювання й вимагає мінімізувати електромагнітні впливи на людей до технічно досяжних рівнів. Це обумовлює неможливість визначити ризики стандартними методами через невизначеність причинно-наслідкових зв'язків. В той же час у міжнародних, так і у національних нормативних актах з електромагнітної безпеки наведено гранично допустимі рівні електричних, магнітних та електромагнітних полів для усіх частотних діапазонів. Національними нормативами є [8,9], міжнародний – обов'язковий додаток [10] до загальноєвропейської директиви [11]. Зважаючи на те, що це є єдині кількісні дані, доцільно розглянути можливості визначення ризиків впливу електромагнітних полів, виходячи з чинних гранично допустимих рівнів та кількісно визначити ступені технічного значення параметрів полів до гарантовано безпечних рівнів.

Ризик завжди пов'язаний з імовірністю несприятливих подій та їх наслідками. Його розрахункова залежність здійснюється, як правило, у мультиплікативній формі, яка дозволяє оцінити величину очікуваного наслідку:

$$R = \{ < S_i, P_i, X_i > \}, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

де R – ризик, що оцінюється; S_i – сценарій несприятливої події, P_i – імовірність того, що несприятлива подія станеться, X_i – можливі наслідки несприятливої події, якщо вона настане за імовірним сценарієм. Для індивідуального ризику:

$$R_i = P_a P_{b/a},$$

де P_a – імовірність несприятливої події, $P_{b/a}$ – імовірність наслідку (наприклад, професійного захворювання або смертельного випадку).

R_i можна вважати властивістю зони (фактору впливу у цій зоні), у межах якої існує імовірність несприятливої події. Ця імовірність обумовлена потенційно небезпечним фактором впливу. Різні види ризику визначаються різними способами. Найбільш поширеними є розбіжність між добровільними і недобровільними ризиками. Якщо ризик є добровільним, для його визначення зручно використовувати чинник β :

$$R_i = \beta * 10^{-4}. \quad (1)$$

Коефіцієнт $\beta=10$ – для повної свободи вибору, тоді $R_i=10^{-3}$, що відповідає максимальному ліміту прийнятного ризику. Зазвичай працюючи, принаймні на енергонасичених підприємствах, обізнані про наявність електромагнітних виливів. Тому будемо орієнтуватися на значення $R_i = 10^{-3} \cdot 10^{-4}$.

Хоча гранично допустимі рівні електричних магнітних та електромагнітних полів за визначенням є такі, що не викликають негативних змін здоров'я людини, встановлено, що нормативно визначені

значення є такими, що ми можемо дозволити запровадити з технічних, економічних та певної частини гігієнічних міркувань. Вимога ВООЗ мінімізувати електромагнітні впливи до технічно досяжних пояснюється невизначеністю цих впливів, що підтверджено багатьма дослідженнями медиків та гігієністів. Про це, зокрема, свідчать значні розбіжності у значеннях ГДР у різних країнах та методики і критерії їх визначення. Тому ГДР електромагнітних впливів можна вважати компромісними і мінімально прийнятними на поточному етапі розвитку техніки й клінічних досліджень. Потребує з'ясування межа, нижче якої технічне зниження напруженостей електричних, магнітних полів наднизьких і проміжних частот та щільностей потоків енергії мікрохвильових випромінювань не має сенсу. Згідно [8] безпечні для людей умови щодо впливу електромагнітних полів повинні відповідати умові:

$$\frac{E_1}{E_{1ГДР}} + \frac{E_2}{E_{2ГДР}} + \dots + \frac{E_n}{E_{nГДР}} + \frac{H_1}{H_{1ГДР}} + \frac{H_2}{H_{2ГДР}} + \frac{H_n}{H_{nГДР}} + \dots + \frac{W_1}{W_{1ГДР}} + \frac{W_2}{W_{2ГДР}} + \dots + \frac{W_n}{W_{nГДР}} \leq 1,$$

де $E_1, E_2, E_n, H_1, H_2, H_n, W_1, W_2, W_n$ – виміряні показники напруженостей полів та щільностей потоків енергії, з індексом ГДР – гранично допустимі рівні для визначених частот та рівні для визначених частот та частотних діапазонів. У будь-якому випадку

$$E/E_{ГДР} < 1, \quad H/H_{ГДР} < 1, \quad W/W_{ГДР} < 1.$$

Гранично допустимі напруженості електричних та магнітних полів промислової частоти у виробничих умовах складають відповідно 5000 В/м та 1400 А/м. Якщо згідно (1) застосувати коефіцієнт 10^{-4} , то отримуємо значення 0,5 В/м та 0,14 А/м.

Як свідчать обстеження електромагнітної обстановки у багатьох будівлях, такі рівні полів притаманні більшості побутових приміщень зі стандартними мережами електроживлення та переліком електричного та електронного обладнання. Тобто, ці напруженості полів є мінімально можливими у будь-якій споруді, і є орієнтиром для зниження їх рівнів за рахунок організаційно-технічних заходів (наприклад, екранування). Але у нормативній базі існує суттєва суперечність. У санітарних нормах [9] порівняння фактичних і гранично допустимих напруженостей електричних і магнітних полів здійснюється співвідношеннями:

$$E^2/E_{ГДР}^2 \leq 1, \quad H^2/H_{ГДР}^2 \leq 1.$$

У цьому випадку застосування коефіцієнт 10^{-4} дає значення 50 В/м та 14 А/м. Але такі рівні полів для більшості приміщень не можна вважати прийнятними. Наприклад, вони значно перевищують гранично допустимі значення для експлуатації комп'ютерної техніки (10 В/м та 0,20 А/м). Таке протиріччя потребує вирішення, на чому наполягають фахівці [12].

Щодо електромагнітних випромінювань ультрависоких частот, то гранично допустимий рівень для засобів мобільного зв'язку складає 10 мкВт/см² (радіотехнічного обладнання цивільної авіації – 15; 20 мкВт/см²). У цьому випадку застосування коефіцієнта 10^{-4} дає значення щільностей потоків енергії

діапазону 0,001-0,002 мкВт/см². Але такі рівні полів є неприйнятними, через те що вони не забезпечують функціонування мобільного зв'язку. Слід враховувати, що мобільний зв'язок є прийнятним за рівнів сигналу, починаючи зі значень 0,08 – 0,10 мкВт/см².

У нормативі [10], розробленому міжнародною комісією з неіонізуючих випромінювань, ГДР ще вищі – 50 Вт/м² для виробничих умов. Це 5000 мкВт/см². Пояснюється це тим, що згаданий норматив орієнтований на тепловий вплив височастотного випромінювання, який є загрозою для життя, в той же час як національні санітарні норми спираються на початок біохімічних змін та електрофізичні показники людини. Аналогічно, ГДР для електричних та магнітних полів наднизьких частот [10] визначені на основі значення наведених електрострумів, тому їх значення заздалегідь високі. Тому цей норматив слід розглядати як такий, що його перевищення загрожує життю. В той же час більшість національних нормативів, наприклад, ФРН [13] містять ГДР, які за порядком відповідають національним з коефіцієнтами 10⁻⁴–10⁻³, які на даному етапі гарантують мінімальний вплив електромагнітних полів на людей.

Наведений підхід до мінімізації ризиків для здоров'я працюючих, виходячи з чинних національних нормативів з електромагнітної безпеки не є

беззаперечним. Але він, на нашу думку, дає можливість визначити межу зниження рівнів електромагнітних полів, яке є максимально доцільним і відповідає середньостатистичним побутовим умовам. Це певним чином конкретизує вимоги ВООЗ (принцип ALAR) і технічно досяжно для переважної більшості виробничих умов.

Висновки

1. Розглянуто можливість оцінювання ризиків для здоров'я працюючих в умовах невизначеності статистичних даних «доза-ефект» щодо впливу електромагнітних полів наднизьких та ультрависоких частот на організм людини.

2. Показано, що така невизначеність обумовлює різні значення гранично допустимих рівнів полів у різких нормативних актах.

3. Застосування коефіцієнтів 10⁻³–10⁻⁴ для гранично допустимих рівнів полів, які містяться у національних нормативах з електромагнітної безпеки, дозволяють отримати значення низькочастотних і височастотних полів, які відповідають побутовим умовам, тому подальше їх зниження не має сенсу. Це конкретизує вимоги ВООЗ щодо необхідності зниження електромагнітних впливів до технічно досяжних значень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO31000 – Risk management – Guidelines
2. ДСТУ ІЕС/ISO31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання.
3. Establishing a dialogic on risk from electromagnetic fields. – Geneva: World Health Organization, 2004.
4. МР2.1.0 0061-12. Оценка риска для здоровья населения при воздействии переменных электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населённых мест.
5. Аудит ризиків на робочому місці // технологічний аудит та резерви виробництва [Глива В.А., Березуцький В.В., Березуцька Н.А., Хаміль Б.В.] – 2016. № 3 – С.12 – 17.
6. Кацман М.Д. Підхід до створення математичних моделей оцінювання ризиків при перевезення залізницями небезпечних вантажів. *Інформаційні технології в навігації та управлінні*: II міжн. НТК 16-17 липня 2011 р. тези доп. С. 33.
7. Resent Research on EMF and Health Risk: Element report from SSMiS SC Electromagnetic Fields: Research. 2016. 115 p.
8. Соколов В.Ю. Методи і засоби підвищення інформаційної та функціональної безпеки безпроводових мереж передавання даних: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Київ, 2019. 21 с.
9. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]: затв. наказом МОЗ України від 18.12.2002 р. № 476. Київ, 2003. 16 с. (Державні санітарні норми України).
10. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz) / International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics. 1998. № 74. p. 494–522.
11. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents. Official Journal of the European Union, 2013.
12. Попов И. И., Тесленко О. А., Тесленко Н. И. Анализ состояния нормативной базы по обеспечению электромагнитной безопасности в Украине. Системы управления, навигации та зв'язку. 2015. № 2. С.124–131.
13. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p. URL: <https://buildingbiology.com/site/wp-content/uploads/standard-2015-englisch.pdf> (дата звернення: 30.08.2019).

Received (Надійшла) 11.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

Methodological approach to risk assessment influence of physical factors of technogenic origin under uncertainty

V. Glyva, B. Khalmuradov, V. Kashperskiy, O. Panova, Y. Biruk, S. Zozulia

Abstract. The paper analyzes the possibility of assessing the health risks of workers under the influence of electromagnetic fields of a wide frequency range. The uncertainty of statistical and clinical data on the causal relationship between electromagnetic exposure and adverse changes in the health of workers has been clarified. This uncertainty causes significant differences in various regulations on electromagnetic safety. It is shown that the WHO requirement to minimize the levels of fields and radiation needs to be specified. The coefficient for voluntary risk in terms of awareness of the presence of man-made electromagnetic effects is 10⁻³-10⁻⁴. Applying these coefficients to the maximum allowable strengths of electric and magnetic fields of ultra-low frequencies and energy flux densities of electromagnetic fields of ultra-high frequencies, quantitative values are obtained that correspond to the field levels in the average room. Obviously, this is the limit below which reducing the levels of electromagnetic fields is impractical. This approach cannot be considered unquestionable, but it in some way specifies the general requirement to reduce the levels of electromagnetic fields to technically achievable levels.

Keywords: working conditions, safety standards, electromagnetic field, wide frequency range, labor protection, risks.

С. О. Дичко¹, В. І. Назаренко²¹ Східне регіональне управління Держприкордонслужби України, Харків, Україна² Головний центр підготовки особового складу Держприкордонслужби України, Черкаси, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИЛ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ У ЗАГОНІ ДЕРЖПРИКОРДОНСЛУЖБИ УКРАЇНИ

Анотація. Предметом вивчення в статті є процес ліквідації наслідків надзвичайної ситуації у прикордонному загоні Державної прикордонної служби України. Метою дослідження є розробка математичної моделі складу сил та засобів обробки служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки загону Держприкордонслужби України. Завдання: зробити математичне формулювання задачі визначення складу зведеного підрозділу служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки Держприкордонслужби України за критерієм максимуму ефективності дій його розрахункових одиниць у надзвичайній ситуації; запропонувати розв'язання отриманої задачі шляхом зведення її до задачі математичного програмування; на основі отриманого розрахунку визначити структуру та процедуру всебічного забезпечення сил та засобів обробки служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки Держприкордонслужби України. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. Отримані такі результати: завдання визначення оптимального складу зведеного підрозділу служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки Держприкордонслужби України сформульована як задача нелінійного цілочисленого програмування. Цільова функція ефективності дій розрахункових одиниць зведеного підрозділу при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації у прикордонному загоні розглянута як сепарабельна та замінена на відповідну лінеаризовану. Висновки. Завдання визначення оптимального складу сил та засобів обробки служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки Держприкордонслужби України може бути зведена до класичної розподільчої задачі лінійного програмування транспортного типу. Для організації всебічного забезпечення дій розрахункових одиниць необхідно виконати умову укомплектування та оснащення підрозділів, яка відповідає закритій розподільчій задачі лінійного програмування транспортного типу.

Ключові слова: ліквідація наслідків надзвичайної ситуації, математичне програмування, складу сил та засобів обробки служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту та екологічної безпеки загону Держприкордонслужби України.

Вступ

Постановка проблеми та завдання дослідження. За останні десятиріччя в Україні спостерігається негативна тенденція зростання кількості надзвичайних ситуацій природного й техногенного характеру, які почали призводити в деяких районах до незворотних змін навколишнього природного середовища й позначатися на загальному стані економіки та безпеки держави.

Для ефективного виконання завдань щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій залучаються сили та засоби обробки служби радіаційного, хімічного та біологічного захисту (РХБЗ) та екологічної безпеки Держприкордонслужби України (ДПСУ). Дані обставини вимагають нового підходу до організації і здійснення захисту особового складу ДПСУ та населення щодо якісного вдосконалення єдиної Державної системи запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення задачі оптимізації як структури підрозділу прикордонного загону так і організації його всебічного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчує, що наявність небезпечних об'єктів на території військових частин та можливих масштабів і наслідків надзвичайних ситуацій під час аварії на них, або їх зруйнування, вимагає організованого

ведення рятувальних і інших невідкладних робіт, завчасно має бути створений зведений підрозділ, який має потрібні сили та засоби, структуру, оптимальну до надзвичайної ситуації структуру та процедуру всебічного забезпечення [1-3]. Зрозуміло, що це буде зовсім не організаційно-штатна структура, яка є незмінною й тому слабо пристосованою до конкретної специфічної ситуації.

Метою статті є розробка математичної моделі визначення оптимального складу сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ.

Для досягнення поставленої мети визначені **завдання дослідження:**

- зробити математичне формулювання задачі визначення складу зведеного підрозділу служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ за критерієм максимуму ефективності дій його розрахункових одиниць у надзвичайній ситуації;

- запропонувати розв'язання отриманої задачі шляхом зведення її до задачі математичного програмування;

- на основі отриманого розрахунку визначити структуру та процедуру всебічного забезпечення сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ.

Виклад основного матеріалу

1. Зміст задачі визначення складу зведеного підрозділу служби РХБЗ та екологічної безпеки

ДПСУ за критерієм максимуму ефективності дій його розрахункових одиниць у надзвичайної ситуації. Припустимо, що застосування сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки Держприкордонслужби України при ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації полягає у виконанні n різнорідних завдань щодо досягнення загальної мети.

Для виконання цих завдань будуть задіяні m типів різнорідних за спеціалізаціями підрозділів військової частини.

Сили і засоби кожного підрозділу організовані у розрахункові одиниці (р.о.) за m типами спеціалізацій, що складають вектор R

$$R = \langle r_i \rangle, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

та будуть розподілені таким чином, що для кожного j -го завдання (заходу) рятувальних та інших невідкладних робіт залучатимуться x_{ij} розрахункових одиниць (р.о.) i -го типу, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$.

Таким чином, планом розподілу сил і засобів по завданнях є матриця:

$$X = [x_{ij}], \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де x_{ij} – кількість р. о. i -го типу, що призначаються на j -те завдання.

За умови здорового глузду приймаємо обмеження на значення x_{ij} , $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$:

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3)$$

$$x_{ij} \in Z. \quad (4)$$

Припустимо, що ефективність дії кожної р.о. при виконанні ним завдань має сенс ймовірності.

Числові значення цієї ефективності $0 \leq p_{ij} \leq 1$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$, утворюють матрицю P :

$$P = [p_{ij}], \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

де p_{ij} – ефективність дій р.о. i -го типу, що призначається для виконання j -го завдання.

Приймаємо, що особовий склад кожної р.о. має однаковий рівень підготовки та забезпечення матеріально-технічними засобами, і ефективність дій при виконанні одного завдання не впливає на ефективність виконання інших завдань. Тоді за класичною теоремою повторення дослідів виконання j -го завдання становитиме [4]

$$p_j = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}}. \quad (6)$$

Завдання, що виконуються з метою ліквідації наслідків надзвичайної ситуації є різними за пріоритетом виконання. Поставимо кожному -му завданню деяке число $c_j > 0$, яке буде відповідати його пріоритету.

$$C = \langle c_j \rangle, \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Значення цієї величини можуть бути отримані, наприклад, шляхом експертного оцінювання. Природно вважати, що найважливіше завдання матиме найменше значення c_j , тому для знаходження цільової функції, із сенсом знаходження максимального значення будемо використовувати обернену величину, $b_j = 1/c_j, j = \overline{1, n}$.

З врахування виразів (6) та (7), ефективність дій сил і засобів x_{ij} -ї кількості при виконанні j -го завдання складатиме

$$W_j = \frac{1}{c_j} \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right) = b_j \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right). \quad (8)$$

$$\text{де} \quad b_j = 1/c_j, \quad j = \overline{1, n}; \quad (9)$$

$$i = \overline{1, m}. \quad (10)$$

Сумарна ефективність щодо виконання усіх n завдань складатиме

$$Z(x_{ij}) = \sum_{j=1}^n W_j = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right); \quad (11)$$

$$i = \overline{1, m}; \quad (12)$$

$$j = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Природно вважати, що сумарний склад р.о. кожного типу, який планується розподілити по видах завдань, не повинний перевищувати його загальну кількість.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq r_i, \quad j = \overline{1, n}. \quad (14)$$

Задача визначення оптимального складу зведеного підрозділу служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ за критерієм максимуму ефективності дій його розрахункових одиниць у надзвичайної ситуації може бути сформульована таким чином:

Знайти план $X^* = [x_{ij}^*], i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$, такий що максимізує функціонал

$$Z(x_{ij}) = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right) \quad (15)$$

та задовольняє обмеженням:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq r_i; \quad (16)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (17) \quad j = \overline{1, n}.$$

$$x_{ij} \in Z; \quad (18)$$

$$i = \overline{1, m}; \quad (19)$$

$$j = \overline{1, n}. \quad (20)$$

Задача (13)-(20) може бути віднесена до задачі нелінійного цілочисленого програмування.

2. Зведення задачі визначення оптимального складу зведеного підрозділу служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ до задачі математичного програмування. З огляду на вираз (11) цільова функція ефективності дій р.о. служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ може бути розглянута як сепарабельна (роздільна), оскільки може бути подана у вигляді суми n функцій однієї змінної x .

$$Z(x_{ij}) = \sum_{j=1}^n W_j = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right) = (21)$$

$$= \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right) \Rightarrow \max.$$

Оскільки величина $\sum_{j=1}^n b_j$ є фіксованою, пропонується цільову функцію знаходити так:

$$Z'(x_{ij}) = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \left(1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right) \Rightarrow \min. \quad (22)$$

Тобто, сепарабельна задача, еквівалентна до задачі (13)-(20), може бути сформульована наступним чином:

Знайти набір $X^{*} = [x_{ij}^{*}]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, такий що мінімізує функціонал

$$Z''(x_{ij}) = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} F_j(x_j) \Rightarrow \min \quad (23)$$

та задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq r_i; \quad (24)$$

$$x_{ij}'' \geq 0; \quad (25)$$

$$x_{ij} \in Z, \quad (26)$$

де $F_j = \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}};$ (27)

$$i = \overline{1, m}; \quad (28)$$

З огляду на [5, 6] пропонується застосування методів наближеного розв'язання задачі сепарабельного програмування, що засновані на лінійній апроксимації функцій і на симплекс-методі лінійного програмування. функцію однієї змінної можна апроксимувати кусочно-лінійною функцією за допомогою методів частково-цілочисельного програмування.

Так, задача (23)-(29) може бути вирішена методами частково-цілочисельного програмування. Для вирішення апроксимуючої завдання можна використувати звичайний симплекс-метод, доповнений правилом обмеженого введення в базис.

Для лінеаризації доданків цільової функції (23) про логарифмуємо вираз (27). Виходячи з того, що значення ефективності дій р.о. має сенс ймовірності, тобто $0 \leq p_{ij} \leq 1$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, а відповідно, значення $0 \leq 1 - p_{ij} \leq 1$, цільова функція буде мати вигляд

$$\widehat{Z}(x_{ij}) = \ln \sum_{j=1}^n \frac{1}{c_j} F_j(x_j) = \sum_{j=1}^n \ln \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} =$$

$$= \sum_{j=1}^n \ln \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{\ln(1 - p_{ij})}{c_j} x_{ij} \Rightarrow \max. \quad (30)$$

При введенні позначення $d_{ij} = \frac{\ln(1 - p_{ij})}{c_j}$, цільова функція (30) прийме вигляд

$$\widehat{Z}(x_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \Rightarrow \max, \quad (31)$$

Таким чином, задача визначення оптимального складу сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ може бути зведена до класичної розподільчої задачі лінійного програмування транспортного типу.

3. Визначення структури та процедури всебічного забезпечення сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ. Припустимо, що шляхом розв'язання задачі (31), (24)-(29) отримана матриця

$$\widehat{X}^* = [\hat{x}_{ij}^*], \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n} \quad (32)$$

значення елементів якої відповідають р.о. i -го типу, що залучатимуться для кожного j -го завдання (заходу) рятувальних та інших невідкладних робіт.

Виходячи з цього, матриця (32) визначає оптимальний сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ по завданнях при ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації.

У цьому випадку для ефективного виконання j -го завдання будуть залучені такі сили і засоби:

$$X_j^* = \sum_{i=1}^m x_{ij}^*, \quad i = \overline{1, m}, \quad (33)$$

Оптимальне укомплектування та оснащення підрозділів за кожною з m спеціалізацій буде визначатися виразом:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^* \leq s_i^*, \quad (34)$$

де $s_i, i = \overline{1, m}$, – сили та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ для вирішення кожного j -го завдання (заходу) рятувальних та інших невідкладних робіт.

Для організації всебічного забезпечення дій р.о. необхідно виконати умову укомплектування та оснащення підрозділів

$$\sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^n r_j. \quad (35)$$

При виконанні умови (35) задача (31), (24)-(29) буде класифікуватися як закрита, в протилежному випадку, як відкрита. Механізм приведення відкритої транспортної задачі до закритої відомі [7], але невиконання умови (35) буде свідчити про брак сил та засобів сили та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки Держприкордонслужби України та вимагатиме організаційних заходів щодо його усунення.

Висновки

1. Задача визначення оптимального складу сил та засобів обробки служби РХБЗ та екологічної безпеки ДПСУ може бути зведена до класичної розподільчої задачі лінійного програмування транспортного типу.

2. Для організації всебічного забезпечення дій р.о. необхідно виконати умову укомплектування та оснащення підрозділів, яка відповідає закритій розподільчій задачі лінійного програмування транспортного типу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коробка В.П., Гаврилко Є.В. Підрозділи Державної прикордонної служби України в єдиній державній системі цивільного захисту населення й територій / Наука і оборона. – 2011. – №3. – С.17–21.
2. Хіврич О.В., Литвиненко А.М. Деякі погляди щодо визначення критерію ефективності оптимальної структури сил об'єктових формувань цивільної оборони. / Наукові праці НУХТ –2007. – № 20. – С.69-72.
3. Хіврич О.В. Вибір показників і критерію ефективності функціонування системи управління цивільним захистом населення і території при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій / О. В. Хіврич, Н. В. Володченкова, А.М. Литвиненко // Харчова промисловість. - 2014. - № 15. - С. 155-159.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, Физматгиз, 1969 – 576 с.
5. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие для студентов экономических специальностей. –М.: Высш. шк., 1986. –319 с.
6. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. – М: Издательский дом «Вильямс», 2005. –912 с.
7. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель – М.: Советское радио, 1972. – 552с.

Received (Надійшла) 04.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.02.2021

Use of mathematical apparatus of study of operations to determine the optimal structure of forces for liquidation of consequences of legacy

Serhii Dychko, Vitaliy Nazarenko

Abstract. The subject matter of the article is a process of liquidation of the consequences of the emergency situation in the border detachment of the State Border Guard Service of Ukraine. The goal of the study is the development of a mathematical model of the composition of forces and means of processing the service of radiation, chemical and biological protection and environmental safety of the State Border Guard Service of Ukraine. The tasks to be solved are: to make a mathematical formulation of the problem of determining the composition of the consolidated unit of the service of radiation, chemical and biological protection and environmental safety of the State Border Guard Service of Ukraine by the criterion of maximum efficiency of its units in an emergency situation; to propose the solution of the obtained problem by reducing it to the problem of mathematical programming; on the basis of the received calculation to determine the structure and procedure of comprehensive provision of forces and means of processing of the service of radiation, chemical and biological protection and ecological safety of the State Border Guard Service of Ukraine. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. The following results are obtained. The problem of determining the optimal composition of the consolidated unit of the service of radiation, chemical and biological protection and environmental safety of the State Border Guard Service of Ukraine is formulated as a problem of nonlinear integer programming. The objective function of the effectiveness of the actions of the settlement units of the consolidated subdivision in the elimination of the consequences of an emergency in the border detachment is considered as separable and replaced by the corresponding linearized. **Conclusions.** The task of determining the optimal composition of forces and means of processing the service of radiation, chemical and biological protection and environmental safety of the State Border Guard Service of Ukraine can be reduced to the classic distribution problem of linear programming of the transport type. In order to organize comprehensive support for the actions of settlement units, it is necessary to fulfill the condition of staffing and equipping units corresponds to the closed distribution task of linear programming of the transport type.

Keywords: emergency response, mathematical programming, composition of forces and means of processing the service of radiation, chemical and biological protection and environmental safety of the State Border Guard Service of Ukraine.

В. В. Коваль, Є. В. Левіщенко

Воєнно-наукове управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна

ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ВІЙСЬК (СИЛ) ПРО НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

Анотація. Формування цільової функції системи моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах є важливим аспектом при здійсненні оцінки складу системи. Оскільки система моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах є складаною організаційно-технічною системою, то формування цільової функції має бути здійснено на основі оцінок вимог до неї. Об'єктом дослідження є процес дослідження складної системи моніторингу та попередження військ про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах. В статті розроблено підхід визначення цільової функції системи моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах, який дозволяє здійснювати оцінку варіантів формування даної системи та оцінити рекомендації направлених на підвищення ефективності її функціонування. Розробка цільової функції системи моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах дозволяє проводити порівняння варіантів формування даної системи, а також здійснювати оцінювання відповідних рекомендацій щодо підвищення ефективності її функціонування.

Ключові слова: система моніторингу, система попередження, цільова функція, ефективність, ресурс, потенційно небезпечні об'єкти, надзвичайні ситуації.

Постановка проблеми

Система моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації (СМПВНС) на потенційно небезпечних об'єктах (ПНО) є складаною організаційно-технічною системою з притаманними їй відповідними системними ознаками (наявності призначення, мети застосування, ефекту, матеріального і інформаційного ресурсу, структури, процесу перетворення ресурсу в ефект, управління), системними властивостями (емерджентність, сталість, адаптивність, керуємість) та системними характеристиками (продуктивність ресурсів, потенціал здатності, ефективність) [1-7]. При цьому складність СМПВНС полягає у тому, що вона є композицією взаємодіючих підсистем управління силами та технічними засобами моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на ПНО, сил та технічних засобів моніторингу надзвичайних ситуацій на ПНО, сил та технічних засобів попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на ПНО, ресурсного забезпечення функціонування СМПВНС на ПНО, з різними функціями, що утворює загальносистемну функцію. Мета пізнання складної СМПВНС на ПНО математично формулюється через цільову функцію системи. Цільова функція СМПВНС на ПНО є математичним описом мети, досягнення якої вимагається під час розв'язання реальної задачі. При цьому потрібно враховувати, що неправильно сформована цільова функція призводить до утруднень або навіть зриву оцінювання ефективності вирішення поставлених перед системою завдань. У таких умовах правильний вибір і формулювання цільової функції СМПВНС на ПНО є однією з основних умов успішного дослідження

даної складаної системи, що і обумовлює актуальність даної тематики.

Метою статті є розробка цільової функції системи моніторингу та попередження військ (сил) про надзвичайні ситуації на потенційно небезпечних об'єктах, що дозволяє здійснювати її оцінку як складної організаційно-технічної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінювання ефективності виконання СМПВНС на ПНО окремих завдань розкрито у низці наукових праць [8-10]. Проте у даних працях не в повній мірі відображено питання формування цільової функції СМПВНС на ПНО. Це не дозволяє проводити об'єктивне порівняння варіантів формування даної системи, а також здійснювати оцінювання відповідних рекомендацій щодо підвищення ефективності її функціонування.

Виклад основного матеріалу

Проблема вибору цільової функції СМПВНС на ПНО полягає у необхідності встановлення ознак (або сукупності ознак), по якій (яких) визначається перевага того чи іншого варіанту системи. З урахуванням того, що СМПВНС на ПНО є складною системою під час порівняння варіантів даної системи необхідно оперувати показниками, які характеризують різноманітні властивості, особливості та ознаки системи [11]:

- оперативність функціонування системи – α_1 ;
- повнота забезпечення військ (сил) інформацією про надзвичайні ситуації на ПНО – α_2 ;
- стійкість функціонування системи – α_3 ;
- якість організації взаємодії – α_4 ;
- витрати ресурсу на розгортання та функціонування системи – α_5 ;

достовірність отриманих даних про надзвичайну ситуацію на ПНО – α_6 ;

стан збереження спроможностей військ (сил) в умовах виникнення надзвичайної ситуації на ПНО – α_7 .

У таких умовах виникає задача формування цільової функції по сукупності ознак, тобто з'являється проблема багатокритеріальності, яка є найбільш загальною в теорії складних систем.

Тому для правильного формування цільової функції СМПВНС на ПНО необхідно оцінити вимоги, яким вона повинна відповідати [4-7]:

цільова функція повинна формуватися з урахуванням теорії пізнання, тобто вона повинна бути об'єктивною, відносною, конкретною, мати якісний фізичний зміст і об'єктивно відображати процес функціонування системи;

цільова функція повинна бути представницькою на всіх рівнях ієрархії системи, тобто відтворювати фізичний зміст цілей системи, й у той же час має бути прийнята за цільову функцію на будь-якому рівні ієрархії;

цільова функція повинна бути критичною (чутливою) до структури і параметрів підсистем будь-якого рівня ієрархії в необхідному обсязі, тобто, вона повинна бути виражена через такі узагальнені параметри системи, що є чутливими до будь-яких параметрів складових підсистем;

цільова функція повинна враховувати розмір цілі системи і витрати на її досягнення;

цільова функція повинна враховувати тривалість процесу функціонування системи;

цільова функція повинна враховувати випадковий характер процесів, які представляють функціонування даної системи.

Виходячи з даних вимог цільова функція СМПВНС на ПНО повинна базуватися на тріаді функцій: “ефективність” – “вартість” – “час”.

Тому під час реалізації цих вимог для вибору і формування цільової функції СМПВНС на ПНО необхідно вирішувати такі специфічні задачі [4]:

встановлення коректного жорсткого формалізованого взаємозв'язку між метою даної системи і потрібними ресурсами для її забезпечення (взаємозв'язок між ефективністю СМПВНС на ПНО та вартістю витраченого для досягнення її заданого рівня ресурсу);

пошук формульних виразів цільової функції, які з однаковою достовірністю дозволили б проводити оцінку ефективності функціонування СМПВНС на ПНО на всіх рівнях ієрархії;

пошуку такої форми запису цільової функції, яка дозволяє проводити дослідження СМПВНС на ПНО для отримання її глобального екстремуму.

Цільова функція СМПВНС на ПНО як критеріальна функція і функції дисциплінуючих умов (обмеження) залежать від значної кількості параметрів системи. Як правило, під час вирішення багатокритеріальної задачі одна з функцій з визначеної тріади функцій (“ефективність”, E – “вартість”, C – “час”, T) вибирається у якості головної, а дві інші переводяться в розряд дисциплінуючих.

З урахуванням визначеної мети функціонування організаційно-технічної СМПВНС на потенційно небезпечних об'єктах, яка полягає в формуванні складу сил і технічних засобів моніторингу та оповіщення військ про НС на потенційно небезпечних об'єктах, спроможних забезпечити необхідний рівень ефективності функціонування даної системи, у якості цільової функції доцільно прийняти такий критерій ефективності:

$$ES = (ES_i \geq ES_{необ}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$C \leq C_{пр}, T \leq T_{зад},$$

де ES – узагальнений показник ефективності функціонування СМПВНС на ПНО; ES_i – узагальнений показник ефективності функціонування СМПВНС на ПНО у i -й період; $ES_{необ}$ – узагальнений показник ефективності функціонування СМПВНС на ПНО при якому система відповідає своєму призначенню; C – вартість витрат ресурсу на розгортання та функціонування системи СМПВНС на ПНО *тис. грн.*; $C_{пр}$ – прийнята на визначений період операції (бойових дій) вартість витрат ресурсу на розгортання та функціонування системи СМПВНС на ПНО, *тис. грн.*; T – час розгортання системи СМПВНС на ПНО, *год.*; $T_{зад}$ – заданий час розгортання системи СМПВНС на ПНО *год.*

Ефективна точка в процесі вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації визначається в області компромісів [11]. Для визначення екстремуму в області компромісів необхідно перейти від задачі векторної оптимізації до задачі нелінійної оптимізації із спеціально сконструйованою скалярною цільовою функцією [4]. Тому для оцінювання ступеню відповідності СМПВНС на ПНО цільовому призначенню доцільно застосувати прийнятий на основі концепції придатності критерій середнього результату [7, 11].

З урахуванням цього, з метою визначення узагальненого показника ефективності функціонування СМПВНС на ПНО можна використати метод, сутність якого полягає у побудові узагальненого показника за допомогою адитивного перетворення (згортання) сукупності часткових показників, що характеризують різноманітні властивості даної системи [11].

Для застосування даного методу необхідно визначити коефіцієнти їх відносної важливості (ваги), що здійснюється за допомогою експертного оцінювання. Зрозуміло, що така процедура вносить суб'єктивний фактор у вибір раціонального варіанту СМПВНС на ПНО за наявності показників, які отримані об'єктивними методами. Крім того, застосування адитивного перетворення для побудови узагальненого показника допускає необмежену можливість компенсації часткових показників. Тому застосування адитивного перетворення можливе тільки за умови зміни часткових показників у вузькому діапазоні [11]:

$$ES = \sum_{j=1}^R x_j \alpha_j; \sum_{j=1}^R x_j = 1, \quad (2)$$

де x_1, x_2, \dots, x_R – коефіцієнти відносної важливості (вага) показників α_j .

З урахуванням (1) сутність визначення цільової функції СМПВНС на ПНО буде полягати у пошуку таких значень ES при яких максимізується узагальнений показник, а його значення не буде гірше за необхідне.

Для визначення значень узагальненого показника ES доцільно використати вербально-числову (змішану) шкалу, що включає у себе як елементи вербальної шкали – змістовний опис градацій, так і числові характеристики – числові значення, що відповідають кожній з градацій. Така шкала дозволяє виміряти ступень вираженості показника, який має суб'єктивний характер [12, 13].

У сучасних дослідженнях пов'язаних із військовою справою широко застосовують вербальну шкалу Харрінгтона, для якої чисельні значення градації отримані на основі аналізу й обробки значного обсягу статистичних даних (табл 1.) [12, 13].

Проте під час оцінювання об'єктів за критерієм, що допускає тільки суб'єктивну оцінку фахівців експертів, доцільно використовувати спеціальну шкалу, яка відображає специфіку прийняття управ-

лінського рішення [14]. У такій шкалі (табл. 1) перелік градацій обрано таким чином, щоб їх змістовні інтерпретації забезпечували вибір рішень, при яких ступінь відповідності СМПВНС на ПНО був на рівні не нижче необхідного.

Результати проведеного аналізу даних наведених в табл. свідчать, що при значеннях $ES \geq 0,7$ СМПВНС на потенційно небезпечних об'єктах відповідає своєму призначенню.

Для прикладу розглянемо визначення цільової функції для централізованого та комбінованого варіантів формування СМПВНС на потенційно небезпечних об'єктах.

Вихідні дані для визначення цільової функції для даних варіантів формування системи наведено в табл. 2.

При цьому враховується такі обмеження: прийнята на визначений період операції (бойових дій) вартість витрат ресурсу на розгортання та функціонування системи СМПВНС на ПНО –

$$C_{пр} \leq 190\,000,00 \text{ тис. грн.};$$

заданий час розгортання системи СМПВНС на ПНО –

$$T_{зад} \leq 72 \text{ год.}$$

Таблиця 1 – Спеціальна шкала оцінювання ступеня відповідності СМПВНС на ПНО своєму призначенню

Значення показника (ES)	Характеристика показника
1,0	Повністю відповідає
0,92	Відповідає
0,84	Малий ризик невідповідності
0,77	Надійна
0,69	Є певний ризик невідповідності
0,62	Визнається можливість невідповідності
0,54	Має суттєві невідповідності
0,46	Частково не відповідає
0,39	Частково відповідає
0,30	Має суттєві невідповідності
0,23	Ненадійна
0,16	Великий ризик невідповідності
0,08	Не відповідає
0,0	Повністю не відповідає

Таблиця 2 – Вихідні дані для визначення цільової функції СМПВНС на ПНО

Варіанти формування СМПВНС на ПНО	Значення показників α_j для							Вартість витрат ресурсу – С, тис. грн.	Час розгортання та функціонування системи – Т, год.
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7		
Централізований	0,51	0,54	0,48	0,61	0,49	0,52	0,65	185 265,22	68
Комбінований	0,69	0,61	0,75	0,69	0,68	0,72	0,69	186 898,75	71
Коефіцієнти відносної важливості (ваги) показників x_j	0,18	0,09	0,11	0,12	0,11	0,19	0,2	–	–

У результаті проведених розрахунків отримуємо такі значення цільової функції СМПВНС на ПНО:

для централізованого варіанта формування системи:

$$C (185\,265,22 \text{ тис. грн.}) \leq C_{пр} (190\,000,00 \text{ тис. грн.});$$

$$T (71 \text{ год.}) \leq T_{зад} (72 \text{ год.});$$

узагальнений показник ефективності функціонування СМПВНС на ПНО $ES \geq 0,55$;

ступінь відповідності СМПВНС на ПНО своєму призначенню – “визнається можливість невідповідності СМПВНС на потенційно небезпечних об'єктах своєму призначенню”;

для комбінованого варіанта формування системи:

$C (186\ 898,75 \text{ тис. грн.}) \leq C_{np} (190\ 000,00 \text{ тис. грн.});$

$T (68 \text{ год.}) \leq T_{зад} (72 \text{ год.});$

узагальнений показник ефективності функціонування СМПВНС на ПНО $ES \geq -0,69$;

ступень відповідності СМПВНС на ПНО своєму призначенню – “є певний ризик невідповідності СМПВНС на ПНО своєму призначенню”.

За результатами проведених розрахунків та отриманих значень цільової функції СМПВНС на ПНО комбінований варіант формування системи є кращим, але для його реалізації необхідно провести комплекс заходів щодо підвищення ефективності функціонування даної системи, насамперед, для підсистем, що впливають на показники з найбільшими коефіцієнтами відносної важливості:

оперативність функціонування системи, $\alpha 1$;
достовірність отриманих даних про надзвичайну ситуацію на ПНО, $\alpha 6$;

стан збереження спроможностей військ (сил) в умовах виникнення надзвичайної ситуації на ПНО, $\alpha 7$).

Висновки

Таким чином, запропонований підхід визначення цільової функції СМПВНС на ПНО дозволяє проводити порівняння варіантів формування даної системи, а також здійснювати оцінювання відповідних рекомендації щодо підвищення ефективності її функціонування. Напрямом подальшого дослідження є розроблення відповідної методики для визначення раціонального варіанту СМПВНС на ПНО.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Елементи дослідження складених систем військового призначення / О. М. Загорка, С. П. Мосов, А. І. Сбітнев та ін. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.
2. Жуков Г. П., Викулов С. Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций: Учебник. – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.
3. Исследование операций. – К.: Выща шк. Головное изд-во., 1988. – 552 с.
4. Военна наука як фундаментальна основа наукових досліджень і підготовки фахівців вищих навчальних закладів Збройних Сил України / А. В. Крижний, А. В. Кучинський, С. В. Лапицький та ін., під заг. Ред. В. Б. Толубка. – К.: НАОУ, 2003. – 559 с.
5. Большие технические системы: проектирование и управление / Л. М. Артюшин, Ю. К. Зиятдинов, И. А. Попов и др. / Под ред. И. А. Попова. – Харьков: Факт, 1997. – 400 с.
6. Тараканов К. В. Математика и вооруженная борьба. – М.: Воениздат, 1974. – 240 с.
7. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов: учебник. – Часть I. Методология, методы, модели. – М.: МО СССР, 1989. – 660 с.
8. Методика роботи командирів і штабів, форми бойових документів із забезпечення РХБ захисту: Навчальний посібник / Л. Ф. Кузьменко, О. В. Хіврич, О. В. Джежулей та ін./ Під ред. Р. М. Факадея – К.: НАОУ, 2002. – 172 с.
9. Михайлова А.В. Система моніторингу та попередження про надзвичайні ситуації в зоні проведення операції об'єднаних сил: дис.канд.тех.наук: 21.02.03. Київ, 2020. – 236 с.
10. Стрижевський В.В., Музиченко Д.П. Надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру. Участь формувань сухопутних військ збройних сил України у ліквідації наслідків надзвичайних ситуації природного та техногенного характеру: Навч. посіб. – К.: НАОУ, 2007. – 58 с.
11. Елементи дослідження складених систем військового призначення / О. М. Загорка, С. П. Мосов, А. І. Сбітнев та ін. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.
12. Швец А. В. Информационная система мониторинга состояний сложных объектов на основе метода вербально-числового риска : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01. Воронеж, 2017.– 124 с.
13. Харингтон Д. Управление качество в американских корпорациях. – М.: Экономика, 1990. – 272 с.
14. Универсальная вербально-числовая шкала Харингтона. – URL// [https:// helpiks/org / 3-20657.html](https://helpiks.org/3-20657.html) (дата звернення : 15.07.2020).

Received (Надійшла) 14.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Target function of the monitoring and prevention system troops (emergency) on emergencies on potentially dangerous objects

V. Koval, E. Levishchenko

Abstract. The formation of the target function of the system for monitoring and warning troops (forces) of emergencies at potentially dangerous facilities is an important aspect in assessing the composition of the system. Since the system for monitoring and warning troops (forces) of emergencies at potentially dangerous facilities is a collapsible organizational and technical system, the formation of the target function should be carried out on the basis of assessments of the requirements for it. The object of the research is the process of researching a complex system for monitoring and warning troops about emergency situations at potentially dangerous facilities. The article developed an approach for determining the target function of the system for monitoring and warning troops (forces) of emergencies at potentially dangerous facilities, which allows assessing the options for the formation of this system and assessing recommendations aimed at improving the efficiency of its functioning. The development of the target function of the system for monitoring and warning troops (forces) of emergencies at potentially hazardous facilities makes it possible to compare the options for the formation of this system, as well as to assess the relevant recommendations to improve the efficiency of its functioning.

Keywords: monitoring system, warning system, target function, efficiency, resource, potentially dangerous objects, emergency situations.

П. В. Лапін, М. Д. Кацман

Акціонерне товариство «Українська залізниця», Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОХОРОНИ ВАНТАЖІВ І ОБ'ЄКТІВ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Анотація. Мета роботи – обґрунтування можливостей повітряного патрулювання об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). **Результати.** У статті досліджено можливості застосування безпілотних літальних апаратів для забезпечення охорони залізничної інфраструктури та вантажів. Розкривається зміст використання безпілотних літальних апаратів як системного моніторингу, що включає підсистему управління і підсистему оперативних груп воєнізованої охорони залізничного транспорту. Описана запропонована авторами модель використання безпілотних літальних апаратів, яка заснована на понятті «критичного часу», як різниці між часом безпосереднього втручання зловмисника в залізничну інфраструктуру та часом реагування підрозділів воєнізованої охорони залізниці із використанням безпілотного апарату. Розкривається приклад використання безпілотного літального апарату на конкретній криміногенній ділянці залізниці з використанням запропонованої моделі. **Висновок.** Підвищення рівня схоронності вантажів, зменшення злочинних посягань на об'єкти інфраструктури залізничного транспорту, а також зниження збитків від крадіжок досягається за рахунок використання нових технологій, таких як БПЛА. Запропонована авторами модель є доступним, простим та зрозумілим інструментом до для реалізації проектів із впровадження моніторингу об'єктів залізничної інфраструктури за допомогою БПЛА.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, критичний час, воєнізована охорона залізниці, зловмисник, криміногенні ділянки, залізниця, попередження та розкриття злочинів.

Постановка проблеми

За останні п'ять років ситуація у сфері безпеки на залізничному транспорті значно погіршилася через низку причин об'єктивного характеру. Протиправні дії щодо об'єктів залізничного транспорту, розкрадання вантажів та умисні руйнування і пошкодження залізничної інфраструктури набули серйозних масштабів.

Щорічно фіксується декілька тисяч випадків несанкціонованого втручання на об'єктах залізничної інфраструктури, а сума завданих збитків сягає десятків мільйонів гривень.

Слід зауважити, що ефективність боротьби зі злочинністю характеризується не тільки зменшенням кількості зареєстрованих злочинів, а й рівнем їх попередження та розкриття.

Постійно підвищується професійний рівень та технічне оснащення зловмисників, зростає ступінь протидії розкриттю злочинів.

Одночасно з цим викликає побоювання серйозна завантаженість оперативних груп Національної поліції та воєнізованої охорони на залізничному транспорті, які фізично не можуть обстежити протяжні багатокілометрові ділянки залізничних перегонів.

Все це зумовлює неможливість домогтися максимально ефективного результату із попередження та розкриття злочинів, пов'язаних із втручанням в діяльність об'єктів залізничної інфраструктури і, як наслідок, відбувається збільшення рівня крадіжок майна на залізничному транспорті.

Сказане дає підстави стверджувати про необхідність вдосконалення науково-технічного забезпечення діяльності підрозділів воєнізованої охорони на залізничному транспорті, консолідації їх зусиль і тісної взаємодії між собою в ході реалізації заходів по боротьбі зі розкраданням залізничного майна.

У зв'язку з цим, а також з огляду на особливу значущість часу отримання первинної інформації, одержуваної в результаті втручання в діяльність об'єктів залізничної інфраструктури необхідно приділити увагу розвитку новітніх технологій забезпечення охорони вантажів і об'єктів на залізничному транспорті, зокрема із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Крім очевидних військових цілей застосування БПЛА, все більший інтерес викликають можливості їх використання в цивільній сфері [1]. Основною царинною застосування БПЛА в мирних цілях є різноманітні види застосування безпілотної авіації в народному господарстві, в тому числі [2, 3]:

- моніторинг великих територій і акваторій,
- картографія,
- аерофотозйомка,
- охорона кордонів і берегових ліній,
- екологічний моніторинг газо- і нафтопроводів, лісів і водойм,
- авіаісоохорона,
- пошуково-рятувальні роботи,
- авіахімічні роботи,
- пошук викрадених транспортних засобів, порушників кордону, браконьєрів тощо.

Метою роботи є обґрунтування можливостей повітряного патрулювання об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА.

Виклад основного матеріалу дослідження

У 2013 році німецький державний залізничний оператор «Deutsche Bahn» розпочав використовувати безпілотні літаки для боротьби з графітістами, чия робота щорічно наносить залізниці збитків на суму 6,7 млн. Євро [4].

У 2014 році започатковано пілотний проект із застосування БПЛА для охорони вантажів і об'єктів польським вантажним перевізником «PKP Cargo» [5]. У жовтні 2015 року «BNSF Railway», друга за величиною вантажна залізнична мережа в США з 32500 мільярдами залізничних колій, розпочала використання БПЛА для моніторингу 140-ти кілометрової ділянки колії у штаті Нью-Мексико [6].

Вивченню перспектив використання БПЛА при ліквідації наслідків залізничних транспортних подій присвячена робота українських вчених [7].

Отже, залізничний транспорт – перспективна сфера застосування нових можливостей, що надаються БПЛА.

Однак, передчасно думати, що настільки широке поле застосування БПЛА повністю відкрито, варто лише розробити апарати та обладнання, здатні виконувати завдання із моніторингу протяжних залізничних перегонів. Освоєння БПЛА для використання на залізничному транспорті вимагає цілого ряду специфічних витрат часу і коштів, обумовлених принциповою новизною відповідних напрямів роботи.

Перш за все, необхідний розвиток нормативно-правової бази, що регламентує застосування БПЛА на залізничному транспорті, забезпечення необхідного рівня безпеки польотів, адже від загального обсягу перевезень вантажів залізничним транспортом

близько 15% становлять небезпечні вантажі (вибухонебезпечні, пожежонебезпечні, хімічні та інші речовини) [8].

Слід підкреслити, що повітряне патрулювання лише забезпечує оперативне виявлення несанкціонованого втручання на об'єктах залізничної інфраструктури і їх локалізацію. Але використовувати отриману при цьому в реальному часі інформацію повинні оперативні групи Національної поліції та воєнізованої охорони залізниці, від ефективності роботи яких залежить кінцевий результат повітряного моніторингу – затримання правопорушника та відшкодування збитків, завданих інфраструктурі залізничного транспорту.

Саме по собі повітряне патрулювання із необмеженим часом обльоту ($t_{напрвпл.}$) криміногенних ділянок залізничних перегонів (тобто, при $t_{напрвпл.} \rightarrow \infty$) не впливає на відшкодування зловмисником збитків від несанкціонованого втручання, а отже не може вважатися ефективним.

Тому система повітряного моніторингу об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА повинна складатися не тільки із підсистеми управління, підсистеми БПЛА, але й підсистеми оперативних груп воєнізованої охорони, а надійність повітряного моніторингу об'єктів залізничної інфраструктури повинна визначатися досконалістю всіх його підсистем (рис. 1).

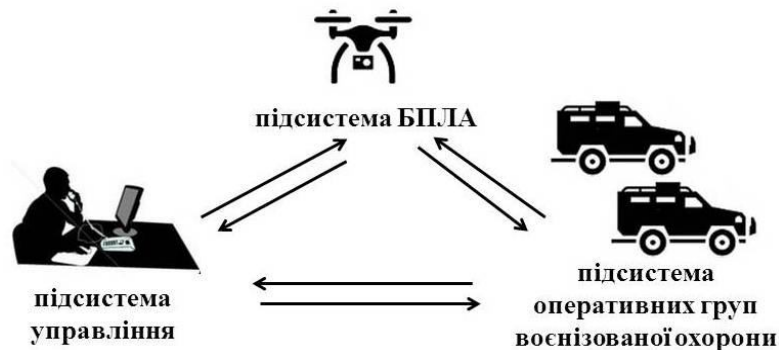


Рис. 1. Система повітряного моніторингу об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА

Діяльність системи повітряного моніторингу об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА може здійснюватись у тому числі і на основі певних математичних моделей, що відображають динаміку оперативної роботи з протидії у втручання в діяльність об'єктів залізничної інфраструктури.

Авторами пропонується модель, яка ґрунтується на понятті «критичний час» ($t_{кр.}$).

«Критичний час» у даній моделі – це різниця між часом, протягом якого зловмисниками безпосередньо здійснюється несанкціоноване втручання в діяльність об'єктів залізничної інфраструктури на місці ($t_{втруч.}$) і часом реагування системи повітряного моніторингу об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА ($t_{реаг.}$).

$$t_{кр.} = t_{втруч.} - t_{реаг.} \quad (1)$$

Очевидно, що ефективною система повітряного моніторингу об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА може бути лише при значеннях $t_{кр.} \geq 0$.

Час реагування ($t_{реаг.}$) залежить від певної кількості чинників, зокрема, від тривалості процесу ідентифікації загрози інфраструктурі залізничного транспорту оператором БПЛА ($t_{ідентиф.}$), тривалості процесу повідомлення доступними засобами зв'язку про загрозу несанкціонованого втручання на об'єкт залізничної інфраструктури ($t_{повідомл.}$), тривалості процесу визначення сил і засобів для оперативного перехвату об'єкту, що загрожує інфраструктурі залізничного транспорту, формування і передачі наказу на виїзд оперативним групам воєнізованої охорони ($t_{наказ}$), тривалості збору і виїзду оперативних груп воєнізованої охорони по тривозі ($t_{зборв}$), часу прямування оперативних підрозділів воєнізованої охорони

до місця несанкціонованого втручання на об'єкт залізничної інфраструктури, виявленого БПЛА ($t_{\text{прямув.}}$).

Таким чином, сумарний час реагування системи при несанкціонованому втручанні на об'єкт залізничної інфраструктури визначається як:

$$t_{\text{реак.}} = t_{\text{ідентиф.}} + t_{\text{повідомл.}} + t_{\text{наказ}} + t_{\text{збору}} + t_{\text{прямув.}} \quad (2)$$

Отже, суттю запропонованої моделі є те, що в ній розглядаються два протилежні процеси, які розвиваються у часі лінійно. З них перший – це процес фізичної втрати майна внаслідок несанкціонованого втручання на об'єкт залізничної інфраструктури, а другий – це процес припинення цих втрат, завдяки заходам повітряного спостереження та діяльності оперативних груп воєнізованої охорони.

Практична цінність запропонованої формули (1) полягає в тому, що на підставі конкретних часових характеристик діяльності системи повітряного патрулювання об'єктів залізничної інфраструктури можна визначити оптимальну чисельність оперативних груп воєнізованої охорони залізниці для патру-

лювання конкретної криміногенної ділянки залізниці.

Припустимо, що l – відстань від місця дислокації оперативних підрозділів воєнізованої охорони залізниці до місця несанкціонованого втручання на об'єкт залізничної інфраструктури, км; 40 км/год. – середня швидкість руху автомобіля оперативної групи воєнізованої охорони на пересічній місцевості.

Отже, час прямування оперативних підрозділів воєнізованої охорони до місця несанкціонованого втручання на об'єкт залізничної інфраструктури, виявленого БПЛА ($t_{\text{прямув.}}$) розраховується за формулою:

$$t_{\text{прямув.}} = l/40 \text{ км/год} \quad (3)$$

Припустимо, що значення перемінних, які входять до формули (2), а саме $t_{\text{ідентиф.}}$, $t_{\text{повідомл.}}$, $t_{\text{наказ}}$, $t_{\text{збору}}$ мають мінімальне значення 1 хвилина.

Підставимо ці значення у формулу (2), проаналізуємо ці залежності та покажемо їх значення в табл. 1.

Таблиця 1 - Розрахунок часу реагування оперативних груп воєнізованої охорони в залежності від місця їх дислокації

Відстань (l), км	$t_{\text{ідент. хв.}}$	$t_{\text{повідом. хв.}}$	$t_{\text{наказ, хв.}}$	$t_{\text{збору, хв.}}$	$t_{\text{прямув. хв.}}$	$t_{\text{реак. хв.}}$
1	1	1	1	1	1,5	5,5
3	1	1	1	1	4,5	8,5
5	1	1	1	1	7,5	11,5
7	1	1	1	1	10,5	14,5
10	1	1	1	1	15	19

Враховуючи обґрунтоване припущення, що середній час протягом якого зловмисниками здійснюється несанкціоноване втручання в діяльність об'єктів залізничної інфраструктури $t_{\text{втривч.}}=15$ хвилин, то оптимальна чисельність оперативних груп воєнізованої охорони для патрулювання складає 1 група на кожні 5-7 км конкретної криміногенної ділянки залізниці.

Саме така кількість оперативних дозволить мати значення $t_{\text{кр.}} \geq 0$.

Визначимо оптимальну кількість БПЛА, що необхідна для патрулювання певної криміногенної ділянки залізниці.

Враховуючи значення $t_{\text{втривч.}}=15$ хвилин, інтенсивність спостереження за кожною точкою криміногенної ділянки залізниці також повинна складати 15 хвилин, тобто щонайменше кожні 15 хвилин кожна ділянка залізничної колії повинна потрапити в поле зору камери БПЛА.

Розрахуємо оптимальну кількість БПЛА для патрулювання ділянки ст.Біличі – ст.Буча регіональної філії «Південно-Західна залізниця» загальною протяжністю 12 км.

Для розрахунку повітряного моніторингу об'єктів в реальному часі візьмемо полікоптер, який має робочу швидкість 30 км/год.

Припустимо, що криміногенна ділянка залізничної колії протяжністю L км патрулюється силами авіапарку, що складається з n однотипних БПЛА.

Якщо середня швидкість польоту в режимі патрулювання дорівнює V км/год, то при повітряному патрулюванні ділянки L за h льотних годин парк БПЛА пройде загальну відстань, рівну $n \times V \times h$ км.

Таким чином, в середньому буде здійснено $(n \times V \times h)/L$ обльотів криміногенної ділянки, а періодичність обльоту ($T_{\text{обльоту}}$) кожної точки криміногенної ділянки, можна знайти за формулою (4):

$$T_{\text{обльоту}} = L / (n \times V) \quad (4)$$

звідки,

$$n = L / (T_{\text{обльоту}} \times V) \quad (5)$$

Підставивши числові значення протяжності ділянки ст.Біличі – ст.Буча регіональної філії «Південно-Західна залізниця» та характеристик полікоптеру у формулу (5) визначимо, що для патрулювання цієї ділянки з інтенсивністю повітряного обстеження кожної точки 15 хвилин необхідно 1,6 (зрозуміло, що результат округляється до найближчого цілого числа 2) БПЛА типу полікоптер зі швидкістю 30 км/год.

З формули (5) також випливає висновок, що оптимальна кількість БПЛА необхідна для патрулювання криміногенної ділянки залізниці, як і слід було очікувати, прямо пропорційна довжині цієї ділянки.

З економічної точки зору патрулювання об'єктів залізничної інфраструктури має важливу характерну особливість. З одного боку, чим більше здійснюється польотів, тим більше витрати на організацію патрулювання. З іншого – підвищення інтенсивності патрулювання особливо криміногенних ділянок залізничних перегонів може сприяти скороченню очікуваних збитків від розкрадання залізничної інфраструктури [9].

Зрозуміло, що організація процесу патрулювання об'єктів інфраструктури залізничного транспорту за допомогою БПЛА в реальності вимагає більш детального обліку неоднорідності ділянок через які проходять залізничної колії, оптимізації

маршрутів польоту, розташування та оснащення оперативних груп воєнізованої охорони, врахування погодних умов тощо.

Крім того, всі складові запропонованої моделі містять цілий ряд істотних спрощень, які можна зняти після проведення пілотного проекту із використання БПЛА на залізничному транспорті.

Висновки

Підвищення рівня схоронності вантажів, зменшення злочинних посягань на об'єкти інфраструктури залізничного транспорту, а також зниження збитків від крадіжок досягається за рахунок використання нових технологій, таких як безпілотні літальні апарати.

Запропонована авторами модель є доступним, простим та зрозумілим інструментом для реалізації проектів із впровадження моніторингу об'єктів залізничної інфраструктури за допомогою БПЛА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фещенко А. Л. Напрями використання світового досвіду застосування безпілотних літальних апаратів в інтересах Збройних Сил України / А. Л. Фещенко // Труды академії. – 2008. – № 90. – С. 89–91
2. Купріянова В. С. Стан та перспективи розвитку безпілотних літальних апаратів в Україні / В. С. Купріянова, І. Ю. Матюшенко // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2015. – Вип. 50. – С. 334-340
3. Никитова А.С. БПЛА в топливно-энергетическом комплексе и экологическом мониторинге / Никитова А.С., Клочков В.В. // Энергия: экономика, техника, экология – 2013. – №2. – С. 34-41
4. "German railways to test anti-graffiti drones" BBC News, 2013. Електронний ресурс: <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-22678580>
5. Igliński H. Rola bezzałogowych statków powietrznych w funkcjonowaniu zwinnych łańcuchów / Hubert Igliński, Maciej Szymczak // Studia Oeconomica Posnaniensia. – № 6. – pp. 139-164
6. Worker drones: maintaining railway tracks from the air Електронний ресурс: <http://www.railway-technology.com/features/featureworker-drones-maintaining-railway-tracks-from-the-air-4893229/6>.
7. Мироненко В. К. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у ліквідації наслідків залізничних транспортних подій / В. К. Мироненко, П. В. Лапін, М. Д. Кацман // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 4. – С. 43-48
8. Музикіна С. І. Аналіз безпеки руху під час перевезення небезпечних вантажів на залізничному транспорті / С. І. Музикіна // Вісник Академії митної служби України. Серія : Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 135-139
9. Клочков В.В. Методы прогнозирования спроса на беспилотные летательные аппараты и работы по воздушному патрулированию / В.В. Клочков, А.К. Никитова // Проблемы прогнозирования. – 2007. – № 6. – С. 144-152.

Received (Надійшла) 13.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Inspection and protection of railway cargoes and infrastructure using aerial drones

P. Lapin, M. Katsman

Abstract. The purpose of the work is to substantiate the possibilities of air patrol of railway transport infrastructure objects with the help of aerial drones. **Results.** The article examines the use of drones to ensure the protection of railway infrastructure and cargoes. The authors proposed model that describe using drones on railway transport, which is based on the concept of "critical time". The content of the use of drones as a system monitoring, including a control subsystem and a subsystem of operational groups, is revealed. The model of use of unmanned aerial vehicles proposed by the authors is described, which is based on the concept of "critical time" as the difference between the time of direct intrusion into the railway infrastructure and the response time of paramilitary units of the paramilitary with the use of unmanned aerial vehicles. An example of the use of drones on a specific criminogenic section of the railway using the proposed model is disclosed. **Conclusion.** Improving the level of security of cargo, reducing criminal encroachments on railway infrastructure, as well as reducing damage from theft is achieved through the use of new technologies such as aerial drones. The model proposed by the authors is an accessible, simple and understandable tool for the implementation of projects for the implementation of monitoring of railway infrastructure with the help of aerial drones.

Keywords: security-free letters, critical hour, the guards of the zaliznytsia, the evil-doer, the crime-genes, the zaliznytsya, improvement and development of problems.

О. О. Мікосянчик, Б. Д. Халмурадов, Н. М. Кічата, А. І. Набільська

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ СИЛ ДЛЯ ГАСІННЯ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖИ

Анотація. Лісові пожежі є фактором впливу на лісове господарство для багатьох країн зони помірного клімату. Збитки, які вони завдають лісу, значно перевищують збитки від шкідників та хвороб дерев. Для подолання сильних лісових пожеж, що мають характер стихійного лиха, вводять режим надзвичайної ситуації. Згідно Порядку організації та застосування авіаційних сил та засобів для гасіння лісових пожеж визначено організацію для здійснення заходів з гасіння лісових пожеж із залученням пожежних літаків та гелікоптерів, підготовки екіпажів повітряних суден до гасіння лісових пожеж, питань взаємодії органів управління та підрозділів ДСНС під час ліквідації надзвичайних ситуацій, пов'язаних з гасінням лісових пожеж із залученням авіації. В даній роботі запропоновано організаційну схему гасіння пожеж в природних екосистемах із застосуванням авіації, розроблено тактику гасіння лісових пожеж із залученням авіаційної техніки. Надано пропозиції та рекомендації щодо посилення роботи по лісопожежній профілактиці, забезпечення своєчасного виявлення виникаючих лісових пожеж та їх ліквідацію на початковій стадії розвитку.

Ключові слова: лісова пожежа, авіаційна техніка, протипожежні заходи.

Вступ

З усіх природних ресурсів, що становлять скарбницю нашої країни, ліс займає особливе місце. Це найдосконаліший, здатний до відтворення природний комплекс, який дає понад 20 тисяч видів цінної продукції. Ліси на території України розміщені нерівномірно. Так, на Поліссі площа їх становить 37%, у Лісостепу – 30,2%, Карпатах – 22,8%, Степу – 5,8% і Криму – 4,2% до загальної площі цих зон. Найвища лісистість у Карпатах – 40,2%. Гірські ліси відіграють важливі водоохоронні і водорегулювальні функції. Не менш важливу екологічну роль відіграють ліси в захисті ґрунтів від ерозії, особливо в гірських умовах, регулюванні клімату, створенні умов для оздоровлення і відпочинку людей.

Поряд з веденням господарської діяльності значної уваги потребує дотримання заходів пожежної безпеки, контроль за виконанням яких потрібно здійснювати насамперед у хвойних насадженнях.

Щорічно лісовими пожежами в Україні і в усьому світі ушкоджуються та знищуються тисячі гектарів лісів, знищуються водоохоронні, захисні та інші корисні властивості лісу, фауна, порушується планова робота лісового господарства та використання лісових ресурсів.

Лісові пожежі – явище природного характеру [1], надзвичайно небезпечне та згубне. Їх дослідження є складним і небезпечним, оскільки основним завданням у разі виникнення є пожежогасіння. Проведення експерименту моделювання пожежі в реальних умовах практикують дуже рідко через загрозу втрати контролю над вогнем. Тому важливим завданням підрозділів лісових господарств є підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки.

Роль авіації у гасінні лісових пожеж важко переоцінити. Якщо раніше повітряні судна головним чином використовували для патрулювання та як транспортні засоби, то сьогодні вони стали могутнім засобом боротьби з вогнем у лісі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема лісових пожеж в умовах сьогодення набула

значних масштабів. Вони виникають навіть у таких високорозвинутих країнах, як США, Австралія, а також країни Європи. Статистичні дані, що стосуються лісових пожеж, ведуться в більшості країн, проте офіційна статистика у світі не завжди відображає реальний стан речей. Статистику лісових пожеж та причини їх виникнення в США наведено в [2, 3]. Щороку через сухий клімат виникає велика кількість лісових пожеж у країнах Південної Європи, зокрема Іспанії, Португалії, Греції, Італії тощо [4].

Ідея використання авіації для виявлення пожеж в природному середовищі вперше виникла в США в 1916 р. Однак втілити її в практику вдалося тільки через три роки, коли федеральний уряд передав кілька літаків лісовій службі (U.S. Forest Service) для моніторингу пожеж в лісах штатів Каліфорнія, Орегон і Вашингтон [5]. У Канаді літаки для спостереження почали застосовувати з 1921 р. Імпульсом для появи нової індустрії в сфері пожежних послуг стало скидання води з літака Boeing Stearman 75 «Cadet» в 1955 р. Венц Нолта, що пілотував літак, здійснив перше в США скидання води на пожежу в національному лісі Мендочіно (Mendocino National Forest), штат Каліфорнія. У Північній Америці в середині ХХ століття була велика кількість як легких сільськогосподарських, так і більш важких літаків. З початку 30-х рр. ХХ ст. розроблено більше 50 моделей і модифікацій пожежних літаків-авіатанкерів [6].

В Україні авіаційні засоби застосовуються як допоміжні функції, підвищуючи ефективність роботи наземних служб. Авіаційна охорона лісів здійснюється Українською державною базою авіаційної охорони лісів. Авіапатрулювання дозволяє охопити значні території одним літальним апаратом, визначити площі, характер пожежі. Однак періодичність польотів призводить до затримки виявлення пожеж, крім того, є велика залежність польотів від метеоумов. На сьогодні в лісовій галузі створена і функціонує відомча пожежна охорона, основою якої є лісові пожежні станції. Охорону лісів від пожеж забезпечують 307 державних лісогосподарських та лісомисливських підприємств, у складі яких функціонує понад 1,7 тис.

лісництв та 273 лісові пожежні станції. Чисельність відомчої пожежної охорони складає більше 13 тис. осіб. У лісах створена мережа із 502 пожежно-спостережних веж, з яких 337 обладнано сучасними телевізійними системами спостереження.

Робота всіх сил і засобів повинна будуватися таким чином, щоб кожна пожежа на території лісового фонду могла бути виявлена на початковій стадії розвитку, а повідомлення про пожежу було негайно передано відповідному органу з тим, щоб необхідні сили і засоби пожежогасіння вчасно прибули до місця пожежі і забезпечили його ліквідацію в найкоротший термін.

Постановка завдання. Мета роботи – розробка тактики гасіння лісових пожеж із залученням авіаційної техніки, а також надання пропозицій та рекомендацій щодо посилення роботи по лісопожежній профілактиці, забезпечення своєчасного виявлення виникаючих лісових пожеж та їх ліквідації на початковій стадії розвитку.

Виклад основного матеріалу

Гасіння лісових пожеж є найбільш трудомісткою роботою в комплексі протипожежних заходів. Завданням протипожежного проектування лісів є така побудова служби гасіння пожеж, при якій останні будуть ліквідовані на початку розвитку із найменшими витратами сил і коштів.

Поряд з виконанням робіт по лісопожежній профілактиці дуже важливо забезпечити своєчасне виявлення виникаючих лісових пожеж та їх ліквідацію на початковій стадії розвитку.

Здійснення цих завдань вимагає від обласних управлінь лісового та мисливського господарства Державного агентства лісових ресурсів України (Держлісагентство) створення і організації роботи спеціалізованих наземних і авіаційних лісопожежних служб, оснащених засобами виявлення і гасіння пожеж, створення і підготовки добровільних пожежних дружин та інших лісопожежних формувань з місцевого населення, робітників і службовців, а також протипожежної техніки, транспортних та інших засобів підприємств, організацій і установ. При загрозі виникнення надзвичайної ситуації в період високої пожежної небезпеки до гасіння лісових пожеж залучаються підрозділи ДСНС, облдержадміністрації та інші органи в межах їх компетенції.

Завдяки підтримці Уряду ДСНС у 2019 році активно вживалися заходи щодо забезпечення готов-

ності авіації (59 % або 13 справних повітряних суден: 6 літаків, 7 гелікоптерів). Для забезпечення пошуку і рятування повітряних суден, що зазнають або зазнали лиха в авіаційному районі пошуку і рятування України, організовано чергування та проведення авіаційних робіт з пошуку і рятування 6-ти пошуково-рятувальних повітряних суден.

У лісовому фонді України зафіксовано збільшення кількості пожеж на 5,4 % (2019 рік - 1307 пожеж, 2018 рік - 1258 пожеж), а загальна площа пожеж на 2,7 % (2019 рік - 1393 га, 2018 рік - 1322 га). (рис. 1) [7].



Рис. 1. Статистика лісових пожеж у лісовому фонді України

Загалом авіацією ДСНС на виконання завдань за призначенням здійснено: 155 польотів на виконання авіаційних робіт з гасіння лісових пожеж на території Київської, Чернігівської, Полтавської та Одеської областей, під час яких виконано 317 зливів (1 тис. 21 т води); 6 польотів на виконання авіаційних робіт з пошуку і рятування на території України, у тому числі в гірській місцевості; 11 польотів для виконання санітарних рейсів та аеромедичної евакуації постраждалих і важкохворих, транспортовано 11 тяжкохворих та 22 особи супроводу; 190 польотів на перевезення керівного складу та мобільних оперативних груп ДСНС, перевезено 488 пасажирів; 64 польоти з метою запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, проведення повітряної розвідки, моніторингу територій та акваторій водних об'єктів, перевезено 108 пасажирів (рис. 2) [7].

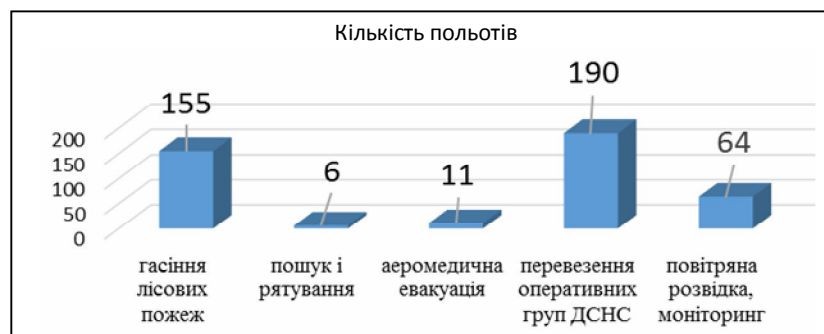


Рис. 2. Застосування авіації ДСНС на виконання завдань за призначенням в 2019 році.

Авіаційна техніка, діюча або яка може бути задіяна для ліквідації пожеж в природних екосистемах, є в наявності як в державних, так і в приватних установах. Зокрема, ДСНС України, Повітряні Сили Збройних Сил України, Міжнародна Акціонерна Авіаційна Компанія «УРГА», Приватне акціонерне товариство «Авіакомпанія «Українські гелікоптери».

До основних повітряних суден можемо віднести літаки та гвинтокрили (табл. 1), зазначені нижче.

Літаки-танкери:

- Ан-26П. Два підвісних бака по 2000 л кожний. Заправка зі спеціального аеродромного модуля або пожежних машин. Висота польоту під час зливання – близько 40 м над пологом лісу, час зливу - до 3 с;

- Ан-32П. Чотири підвісних бака по 2000 л кожний. Заправка з спеціального аеродромного модуля або пожежних машин. Висота польоту під час зливання близько 50 м над пологом лісу. Злив проводиться спочатку з передніх двох баків і через 1,5 с з двох задніх або одночасно з усіх баків;

- Іл-76. Два резервуари по 21 м³. Заправка здійснюється на аеродромі. Час заправки становить 20-30 хв. Злив відбувається з висот 50 - 100 метрів і займає 6-8 секунд. Один політ (зліт, робота, посадка, заправка паливом і водою) - 3 години.

Спираючись на практичний досвід і аналіз сучасних тенденцій ринку, Авіакомпанія «Українські гвинтокрили» провела глибоку модернізацію гвинтокрила Мі-8МТВ-1 і створила унікальний багатофункціональний гвинтокрил-трансформер [8].

Всього за 40 хвилин силами екіпажу цей гвинтокрил може бути конвертований у наступні конфігурації: швидкого реагування; пошуково-рятувальна; авіа-медична евакуація; пасажирська; вантажна.

Для успішного виконання місій на гвинтокрили встановлено сертифіковане обладнання:

1) Інтегрована система нічного бачення, пошуковий прожектор, пов'язаний з FLIR, у тому числі для роботи у інфрачервоному режимі.

2) Система супутникового відеозв'язку, яка дозволяє передавати відеодані, що фіксуються камерами FLIR, з борту гвинтокрила на наземний пункт управління.

3) Посилена лебідка вантажопідйомністю 272кг/80м з додатковим обладнанням для підйому постраждалих. Вона використовується у поєднанні зі спусковим пристроєм для екстреного спуску рятувальників у місця, де посадка гвинтокрила неможлива.

4) Медичний модуль з повним комплектом устаткування для екстреної медичної допомоги і підтримки життєдіяльності.

Таблиця 1 - Гвинтокрил пожежний

Показники	Тип гвинтокрила
	Мі – 8Т
Потужність силової установки, к.с.	1102
Вантажопідйомність, кг	4000
Максимальна швидкість, км/год	200
Дальність польоту, км	640
Кількість палива, л	1450
Кількість місць для пожежних, шт.	24
Максимальна тривалість польоту, год	2,2
Водозливний пристрій, м ³	2,0

Перспективність застосування авіації для гасіння лісових пожеж в Україні може розглядатися лише за умов втілення пропозицій, представлених на рис. 3.

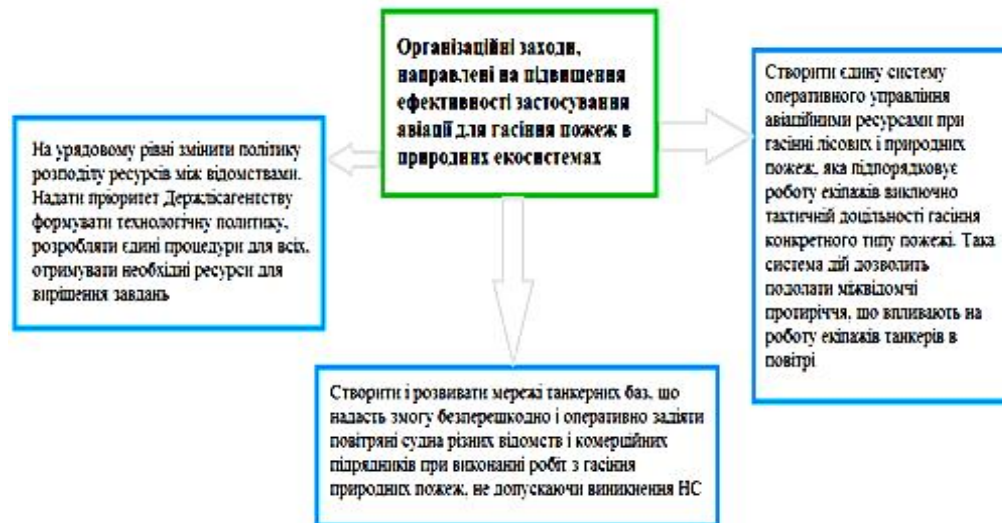


Рис. 3. Схема організаційних заходів для застосування авіації при гасінні пожеж

Авіаційні технології гасіння в першу чергу необхідні для створення сприятливих тактичних умов для роботи наземних сил пожежогасіння - це оперативний засіб підтримки наземних сил. Самостійне безпосереднє авіаційне гасіння вогню може бути умовно ефективним лише на малих пожежах, що починаються з площ 1-3 га.

Авіація тотально програє наземним технологіям пожежогасіння по продуктивності, вартості та ефективності. Її перевага проявляється тільки в швидкості прибуття.

Для поліпшення тактичних прийомів гасіння пожеж необхідно, передусім, створити систему управління авіаційними ресурсами при гасінні лісо-

вих пожеж (Aviation management), у тому числі різній відомчій приналежності. Така система повинна вирішувати наступні завдання:

- забезпечувати зв'язок між керівником гасіння лісової пожежі (КГЛП), керівниками наземних команд на пожежах і екіпажем ПС до вильоту і безпосередньо в повітрі;

- забезпечувати оперативну реакцію авіації на заявку КДА у встановлені максимально короткі терміни (десятки хвилин, а не години);

- забезпечувати актуальну цілевказівку для екіпажів ПС безпосередньо на пожежі. Проаналізувавши різні засоби авіаційного пожежогасіння, можна виявити наступні переваги [9]:

- висока оперативність доставки вогнегасної рідини в район пожежі;

- велика ефективність одномоментної атаки з повітря на вогнище горіння;

- незалежність від наявності та стану під'їзних шляхів і доріг;

- висока безпека робіт по гасінню для людей.

Висновки

До основних завдань, які треба вирішити в Україні для підвищення ефективності гасіння пожеж в природних екосистемах із застосуванням авіації треба віднести наступні:

- 1) Передати повноваження по гасінню лісових пожеж із застосуванням танкерів Держлісагентству.

- 2) Створити систему навчання льотчиків-спостерігачів і керівників гасіння пожеж.

- 3) Розвинути інфраструктуру: мережа танкерних баз із запасами ретардантів і заправним устаткуванням.

- 4) Зробити географічну дислокацію пожежних літаків в районах з традиційно високою пожежонебезпекою.

- 5) Розробити і впровадити єдині процедури взаємодії і управління авіаційними ресурсами при гасінні лісових і природних пожеж.

- 6) Придбати спеціалізовані літаки-навідники для оцінки і координування сил на пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями. / Постанова КМУ від 24.03.2004 № 368. Київ: 2004.
2. National Fire Protection Association.
URL: <http://www.nfpa.org/news-and-research/fire-statistics-and-reports/fire-statistics>
3. Wildland fires: a historical perspective. U.S. Fire Administration topical fire research series.
URL: www.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/tfrs/v1i3-508.pdf
4. Annual Fire Reports. Forest fires in Europe, Middle East and North Africa.
URL: <http://forest.jrc.ec.europa.eu/effis/reports/annual-fire-reports>
5. Stein-Janney T. Airtankers, an historic overview / California Fire Pilots Ass. – 2012. 14 p.
6. Баскакова А. О., Волкова Л. В., Воронов М. А., Ерицов А. М., Коршунов Н. А., Щетинский Е. А., Перминов А. В., Крамаренко Ю. А. История авиационной охраны лесов России. Пушкино: Авиалесоохрана, 2017. 294 с.
7. Публічний звіт Голови ДСНС про результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році <https://www.dsns.gov.ua/ua/Zvitni-materiali-Derzhavnovi-sluzhbi-Ukrayini-z-nadzvichaynih-situaciy.html>
8. Левківський О.П., Ковальов М.Ф. Напрямки поліпшення процесів ремонту автотранспортних засобів // ВІСНИК ЖДТУ, Серія: Технічні науки, 2014, № 2 (69), С. 164 – 167.
9. Григорьевская А.О., Иванов Н.В., Вишнёв А.В. Анализ использования авиации для тушения лесных пожаров // Решетневские чтения. 2014. №18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-ispolzovaniya-aviatsii-dlya-tusheniya-lesnyh-pozharov>
10. Taylor S. W. Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience / S. W. Taylor, M. E. Alexander. // International Journal of Wildland Fire. – 2006. – №15. – P. 121–135..
11. Авиационное тушение лесных пожаров: система «тесное небо» Н. Коршунов, А. Перминов // Авиапанорама. – № 4 (136) – 2019. –С.4-17.

Received (Надійшла) 14.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Analysis of fire safety and development of preventive measures relating to the decrease in the specialized development of car parts

O. Mikosianchuk, B. Khalmuradov, N. Kichata, A. Nabylska

Abstract. Forest fires are a factor affecting forestry in many temperate countries. The damage they cause to forests far exceeds the damage caused by pests and tree diseases. To overcome strong forest fires, which have the character of a natural disaster, an emergency regime is introduced. According to the Procedure for the organization and use of aviation forces and means for extinguishing forest fires, is defined the organization for extinguishing forest fires with firefighting aircraft and helicopters, training aircraft crews for extinguishing forest fires, cooperation between authorities and SES units during emergencies, related to extinguishing forest fires with the involvement of aircraft. This paper proposes an organizational scheme for extinguishing fires in natural ecosystems with the use of aviation and develops the tactics for extinguishing forest fires with the involvement of aircraft. Suggestions and recommendations for strengthening work on forest fire prevention, ensuring timely detection of emerging forest fires and their elimination at the initial stage of development are provided.

Keywords: forest fire, aviation mechanism, firefighting measures.

Зв'язок, телекомунікації та радіотехніка

УДК 355.02+004.91

doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.142

О. Ю. Іохов, І. М. Майборода, В. Д. Лазарев, В. Т. Оленченко

Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ЗАСОБАМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Анотація. У статті запропонований підхід щодо визначення відповідності стану, кількості та якості засобів зв'язку та інформатизації завданням, що покладаються на Національну гвардію України (НГУ) в поточній та перспективній ситуації. Крім цього, такий підхід надасть можливість сформулювати пріоритети розвитку системи зв'язку НГУ та розробити альтернативні рішення щодо варіантів забезпечення підрозділів та частин НГУ засобами зв'язку та інформатизації. **Мета роботи** – розробка окремих аспектів методології формування та використання системи індикаторів та агрегованих оцінок (індексів) щодо оцінки рівня ТЗ НГУ засобами зв'язку та інформатизації. Опис функціонально та конструктивно різних зразків техніки зв'язку здійснюється на основі єдиної системи показників та індикаторів, що дозволяє сформулювати агреговані оцінки за групами відповідних характеристик. Індикатори визначаються на основі тактико-технічних характеристик зразка техніки зв'язку та включають експертні оцінки. Результати статті можуть бути використані в процесі формування об'єктивних експертних оцінок щодо необхідних обсягів окремих зразків техніки зв'язку та ефективності їх використання в різних умовах.

Ключові слова: інформаційно-аналітична система; технічне забезпечення; засоби зв'язку та інформатизації; індикатори; агрегована оцінка.

Вступ

Постановка проблеми. Одним із факторів ефективного функціонування інформаційно-аналітичних систем в галузі технічного забезпечення (ТЗ) є якість та повнота інформації, що використовується, а також рівень досконалості механізмів прийняття відповідних рішень [3–15].

Важливим завданням, при цьому є проведення порівняльного аналізу зразків техніки зв'язку на базі системи показників та індикаторів, що дозволяє сформулювати інтегральні індекси рівня забезпеченості військ засобами зв'язку та інформатизації (ЗЗІ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні телекомунікаційні та інформаційні технології дозволяють створювати складні інформаційно-телекомунікаційні системи, складовими частинами яких є сучасні комплекси засобів зв'язку та інформатизації [5]. На сьогодні система зв'язку НГУ має стійку тенденцію до всебічного розвитку та модернізації, переоснащення підрозділів зв'язку новітніми високотехнологічними засобами зв'язку та переходу на сучасні цифрові технології із забезпеченням необхідної якості проведення заходів ТЗ [1].

Практика експлуатації у військах цифрових засобів зв'язку «Harris», що стали базовими в структурі системи зв'язку НГУ, свідчить про те, що питання організації та проведення заходів ТЗ командири всіх рівнів вирішують самостійно, спираючись на особистий досвід. При цьому не враховується необхідність наближення системи ТЗ до стандартів НАТО [2], перш за все за критерієм ефективного використання достатнього обсягу ЗЗІ підрозділами НГУ в різних умовах виконання службово-бойових за-

вдань. Отже, на перший план виходить необхідність експертної оцінки рівня ТЗ підрозділів та частин НГУ ЗЗІ ще на етапі планування їх бойового застосування з використанням сучасної інформаційно-аналітичної системи.

Метою статті є розробка окремих аспектів методології формування та використання системи індикаторів та агрегованих оцінок (індексів) щодо оцінки рівня ТЗ НГУ засобами зв'язку та інформатизації.

Виклад основного матеріалу

Система індикаторів оцінки рівня ТЗ НГУ повинна надавати можливість формального вирішення ключових завдань зазначеного забезпечення, що спирається на визначення відповідності стану, кількості та якості техніки зв'язку завданням, що покладаються на НГУ в поточній та перспективній ситуації. Цей підхід має забезпечити знаходження ефективних рішень на основі порівняльного аналізу ЗЗІ щодо:

раціонального вибору ЗЗІ, необхідних для вирішення завдань НГУ та формування пріоритетів розвитку системи зв'язку НГУ;

альтернативних варіантів забезпечення підрозділів та частин НГУ ЗЗІ.

Визначимо, що Bal є функцією балансу, яка відображає оцінку співвідношення кількості та якості наявних ЗЗІ НГУ ES із засобами одного або декількох супротивників – DS .

У спрощеному вигляді, можна визначити, що

$$Bal = ES - DS . \quad (1)$$

Крім відображення суто балансу ЗЗІ Bal ситуація в зоні бойових дій залежить від поставлених

завдань та методів їх вирішення, навичок застосування ЗЗІ, місцевості, електромагнітної обстановки, пори року та багатьох інших факторів. Разом з тим, в цьому дослідженні зазначені фактори не враховуються.

У випадку службово-бойових завдань підрозділами НГУ співвідношення балансу потребує коригування на користь збільшення кількості власних ЗЗІ з урахуванням можливого їх пошкодження, або знищення внаслідок бойових дій, створення та регулювання розміщення резерву тощо.

У цьому випадку показник переваги (дисбалансу) має вигляд:

$$Def = cDef \times Bal, \quad (2)$$

де $cDef$ – коефіцієнт переваги (дисбалансу), який при виконанні завдань у повсякденній діяльності має приймати значення більше одиниці.

За аналогією, у випадку прийняття участі підрозділами НГУ в спеціальних операціях показник переваги (дисбалансу) має наступний вигляд:

$$Att = cAtt \times Bal, \quad (3)$$

де $cAtt \geq cDef \geq 1$.

Значення $cDef$ та $cAtt$ визначаються командуванням відповідного рівня в залежності від поточної ситуації та завдань, а також можливостей постачання ЗЗІ та їх наявності.

Таким чином, метою системи індикаторів, що пропонується далі, насамперед, є детальне визначення величин в (2)-(3), які відіграють роль інтегральних індексів стану забезпечення НГУ ЗЗІ.

На першому етапі необхідно визначити уніфікований формальний опис ЗЗІ, який має стати інструментарієм характеристики та порівняння в однакових одиницях та термінах різних за конструктивними характеристиками ЗЗІ. Тобто, необхідно мати єдину систему показників для опису функціонально та конструктивно різних категорій ЗЗІ, наприклад, радіостанції, телекомунікаційного комплексу, АТС та ін., яка дозволяє оцінити й сумарну бойову ефективність застосування різних ЗЗІ.

Кожний зразок ЗЗІ визначається як складний об'єкт, що включає:

- безпосередньо комплект ЗЗІ;
- засіб для його транспортування;
- додаткове обладнання (засоби автономного енергоживлення).

Крім цього, розглядаються тактико-технічні характеристики зразка ЗЗІ, його вартісні, експлуатаційні та інші показники. Цим характеристикам зіставляються окремі групи індикаторів.

Комплект ЗЗІ, засіб для його транспортування та додаткове обладнання розглядаються як об'єкти різних множин або наборів (відносяться до окремих баз даних) [16-18]. Зразок ЗЗІ, таким чином, формується як складний об'єкт, зібраний з різних об'єктів цих множин. В разі відсутності транспортної бази або додаткового обладнання зразок ЗЗІ відповідні значення індикаторів прийматимуть нульові значення, що дозволяє описувати різні зразки ЗЗІ. Напри-

клад, відсутність транспортної бази та додаткового обладнання вказує, що ЗЗІ є носимими (ранцеві радіостанції).

Індикатори визначаються на основі тактико-технічних характеристик зразка ЗЗІ та, крім цих характеристик, включають їх якісні експертні оцінки, які формуються на основі наступних критеріїв, що розглядаються в сукупності:

- порівняння з кращими світовими зразками;
- важливість (наявності) характеристики, якій зіставляються якісні оцінки;
- ефект використання цієї характеристики;
- вплив характеристики на живучість екіпажу та зразка ЗЗІ;
- важливість для виконання бойових завдань щодо забезпечення управління;
- простота використання та ін.

Характеристики ЗЗІ будемо виражати на основі наступних індикаторів, що наведені в таблиці 1. В стовпчику «Якісні оцінки» вказуються експертні оцінки видів техніки зв'язку $n = 1, \dots, N$ ЗЗІ ($an, 1$ та далі), які відображають властивості засобу та рівень реалізації вказаної індикатором функції в порівнянні зі зразками. Використовується 100-бальна шкала оцінок, в якій 1 відповідає найгіршому, а 100 – найкращому рівню реалізації функції. Введення такої шкали дозволяє в межах однієї системи оцінок виразити істотно різні технічні характеристики ЗЗІ, а також їх порівняльні вагові коефіцієнти.

Вказані оцінки далі помножуються на 0 або 1 в залежності від наявності відповідної характеристики.

Таблиця 1 – Базові індикатори видів озброєння, $n = 1, \dots, N$

Індикатори	Якісна оцінка (від 1 до 100)
Назва ЗЗІ	
Категорія ЗЗІ	
Технічні характеристики	
Вид ЗЗІ	
Радіостанції КХ та УКХ діапазону	$an, 1$
Телекомунікаційні комплекти	$an, 2$
Радіорелейні станції	$an, 3$
Засоби проводового зв'язку	$an, 4$
Управління та програмне забезпечення	
Ручне	$an, 5$
Автоматизоване	$an, 6$
Роботизоване	$an, 7$
Автоматичне, програмне	$an, 8$
Дальність зв'язку	$an, 9$
Наявність ППРЧ	$an, 10$
Робочий діапазон частот	$an, 11$
Вага, кг	$an, 12$
Час, необхідний для встановлення зв'язку	$an, 13$
Вартість ЗЗІ, дол. США	$an, 14$

На основі введених індикаторів утворюються агреговані оцінки ЗЗІ:

його основних технічних характеристик

$$A_n = \frac{1}{800} \sum_{p=1}^8 a_{n,p}, \quad (4)$$

та ефекту використання (своєчасного та якісного забезпечення зв'язку):

$$Aw_n = \frac{1}{600} \sum_{p=1}^6 aw_{n,p}, \quad (5)$$

де підсумування ведеться за кількістю індикаторів. В знаменнику знаходиться нормуюча величина, залежна від верхньої границі шкали (дорівнює 100) та кількості індикаторів в сумі.

Таким чином, ЗЗІ характеризується трьома оцінками $\langle A_n, {}^o Aw_n, {}^o f_n \rangle$, які відображають його технічні, бойові та вартісні характеристики.

Введемо агреговані оцінки $AW_n = A_n + Aw_n$:

$$AF_n = a_n \frac{AW_n}{f_n}, \quad (6)$$

які виражають відповідно ефект використання ЗЗІ та його економічну ефективність, a_n - поправочний коефіцієнт, який залежить від оцінок всього набору наявних ЗЗІ.

Крім витрат на саме озброєння виникають витрати на його експлуатацію (табл. 2).

Таблиця 2 – Вартісні оцінки транспортування та експлуатації 1 зразка ЗЗІ

Стаття	Позначення
Вартість транспортування на місце призначення зразка ЗЗІ, дол. США	fe,1
Палива для транспортування цього зразка на 100 км	fe,2
Матеріалів та комплектуючих для регламентних робіт (на 1000 год. роботи), дол. США	fe,3
Експлуатаційні витрати на 1000 год. роботи, дол. США	fe,4
Сумарна вартість, дол. США	Fe

Сукупна інтегральна оцінка зразка ЗЗІ E з'являється кожній з одиниць ЗЗІ,

$$ES = \sum_{i \in I} E_i, \quad (7)$$

тоді сума за всіма зразками ЗЗІ $i \in I$ відобразить їх сукупний стан, в тому числі потенціал ЗЗІ, в залежності від обсягу сумування, за різними військовими підрозділами, ділянками виконання завдань, тобто ця оцінка дозволяє визначити необхідний обсяг ЗЗІ, орієнтуючись на потенціал радіопротидії чи протистояння.

На основі отриманих оцінок можна побудувати рейтинги різних наявних зразків ЗЗІ як в цілому, так і за їх категоріями [19–21].

Крім узагальненої порівняльної оцінки, в результаті можна одержати об'єктивну оцінку їх порівняльної ефективності, спроможності протистояти ЗЗІ супротивника тощо.

Побудова таких рейтингів також необхідна для узгодження та коригування якісних оцінок, визначених для різних категорій, видів та зразків ЗЗІ.

Для визначення потенціалу радіопротидії супротивнику необхідно порівняти оцінку ES власних зразків ЗЗІ з прогнозованою оцінкою засобів супротивника.

Така прогнозована оцінка ЗЗІ супротивника визначається за аналогією з ES за допомогою введених індикаторів, що дозволяє зробити адекватне порівняння засобів ЗЗІ. Визначимо таку оцінку DS через різницю $Bal = ES - DS$, як існуюче співвідношення зразків ЗЗІ.

Крім цього, на основі даного підходу може визначитися співвідношення величини Bal та, заздалегідь визначеного експертним шляхом, необхідного рівня балансу BD , можливо відмінного від Bal .

Різниця $V = BD - Bal$ й відобразить необхідність зміни кількості та якості ЗЗІ у відповідності з завданнями НГУ, обумовлюватиме підстави для поповнення ЗЗІ в зоні виконання службово бойових завдань, виробництва та розробки нових видів ЗЗІ, тощо.

Через відношення інтегральної оцінки зразка ЗЗІ E до його вартості, можемо визначити показник "Ефективність - вартість" його використання та провести порівняльний аналіз ЗЗІ за цією характеристикою.

Порівняння таких оцінок для різних, необхідних та припустимих в конкретній ситуації, зразків ЗЗІ дозволить сформулювати ефективну стратегію забезпечення управління військами в ході інформаційної боротьби та протистояння супротивнику.

Ця оцінка матиме такий вигляд:

$$EF = E / (F + Fe), \quad (8)$$

де F – сума витрат на виробництво зразка ЗЗІ, а Fe – на його експлуатацію.

Висновок

Розглянуті основи методології формування та використання системи індикаторів та агрегованих оцінок (індексів) оцінки рівня технічного забезпечення НГУ засобами зв'язку та інформатизації дозволяють сформулювати об'єктивні конструктивні оцінки необхідних обсягів ЗЗІ та ефективності їх використання, що створює передумови до визначення стратегій закупівлі, виробництва, застосування ЗЗІ в найбільш економічний та, водночас, ефективний з військової точки зору спосіб.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Положення про технічне забезпечення зв'язку в Національній гвардії України. Наказ МВС № 1384 від 06.11.2015 - с. 60.

2. Люлін Д.О., Михайлов О.В., Кайдаш І.Н. Удосконалення системи технічного забезпечення засобів зв'язку і автоматизації // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ” № 2 – 2011, с.68–75.
3. Емельянов С. В., Ларичев О. И. Многокритериальные методы принятия решений. М.: Знание, 1985.
4. С.О. Довгий, П.І. Бідюк, О.М. Трофимчук. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. Київ: Логос, 2014. 419с.
5. Подходы к информационно - аналитическому обеспечению органов военного управления / Л.О. Бондаренко, Е.А. Ефанова, О.И. Садыков, А.И. Остапук. Зб. наук. пр. Військового інст. телекомунікацій та інформатизації. № 3. Київ: ВІПІ. 2017. С. 25 – 31.
6. Бегма В.М., Свергунов О. О. Військово-технічна та оборонно-промислова політика України в сучасних умовах: аналіт. доп. / упоряд. В. М. Маркелов, [за заг. ред. В. М. Бегми]. Київ : НІСД, 2013. 112 с.
7. Микони С. Д. Теория и практика рационального выбора: Монография. М.: Маршрут, 2014. 463 с.
8. Направления совершенствования методологии обоснования концепции развития системы вооружения вооруженных сил государства и формирования перспективного ее облика / Д.А. Гриб, Б.А. Демидов, О.А. Хмелевская, М.Ю. Кузнецова. Системи озброєння і військова техніка. 2017. №3(39). С. 25—29.
9. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
10. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
11. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, Computer Communications, Volume 154, Pages 501-508, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079>.
12. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Mohammed, A. S., Manikandan, V., Porkodi, V., & Yuvaraj, N. (2019). Improved Enhanced Dbtma with Contention-Aware Admission Control to Improve the Network Performance in Manets. CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA, 60(2), pp. 435-454, DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06295>
13. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
14. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
15. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), “Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering”, ICTACT Journal on Soft Computing, Vol. 9, Issue 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: 10.21917/ijsc.2018.0252
16. Лактионов В.И. Интеллектуальные технологии в информационно-аналитической деятельности органов военного управления: проблемы внедрения. Военная мысль. 2002. № 6. С. 60—64.
17. Довгий С.О., Бідюк П.І., Трофимчук О.М.. Системи підтримки прийняття рішень на основі статистично-ймовірнісних методів. Київ: Логос, 2014. 419с.
18. Застосування інформаційних технологій в роботі органів управління. – Частина 2: Підручник. К.: Вид. НАОУ, 2006. – 368 с.
19. Головін О.О., Стрижак О.С. Засоби онтологічної взаємодії у задачах військового управління, Збірник наукових праць / Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Вип. 1(72). Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України. 2019. С. 19 – 31.
20. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т. 6. Воєнно-економічний аналіз життєвого циклу озброєння та військової техніки: теоретико-методологічні засади: монографія / І.Б. Чепков, В.В. Зубарев, В.К. Борохвостов, О.О. Головін [та ін.]. – Київ: ВД Дмитра Бурого, 2018. 475 с.
21. Смірнов В.О., Ленський Л.М., Жданов С.В. Воєнно-технічна політика: проблеми формування та управління: моногр. / за заг. ред. В.О. Смірнова. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2011. 216 с.

Received (Надійшла) 01.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Assessment of the level of technical support of the National Guard of Ukraine by means of communication and informatization in the information and analytical system

O. Iokhov, I. Mayboroda, V. Lazarev, V. Olenchenko

Abstract. The article proposed an approach to determining the compliance of the state, quantity and quality of communication and informatization with tasks that rely on the National Guard of Ukraine (NGU) in the current and promising situation. In addition, this approach will provide an opportunity to form priorities for the development of the NGU communication system and develop alternative solutions for the options for providing units and parts of the NGU by means of communication and informatization. **The purpose** of the work is to develop certain aspects of the methodology for the formation and use of a system of indicators and aggregated assessments (indices) regarding the assessment of the level of vehicles NGU by means of communication and informatization. The description of functionally and constructively different samples of communication techniques is carried out on the basis of a single system of indicators and indicators, which allows you to form aggregated assessments according to groups of relevant characteristics. Indicators are determined on the basis of the technical characteristics of the communication technique sample and include expert assessments. The results of the article can be used in the process of forming objective expert assessments on the required volumes of individual samples of communication techniques and the effectiveness of their use in different conditions.

Keywords: information and analytical system; technical support; means of communication and informatization, indicators; aggregated score.

В. Д. Карлов¹, О. Л. Кузнецов¹, В. В. Белоусов¹, С. А. Тузіков¹, М. М. Олещук², В. М. Петрушенко³

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

² Військова частина А 2533, Дніпро

³ Військова частина А 2183, Миколаїв

ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ АЕРОДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ ТРОПОСФЕРНОЇ РЕФРАКЦІЇ

Анотація. Трикоординатні радіолокатори є найбільш універсальними з технічної точки зору засобами визначення просторового положення аеродинамічних об'єктів та забезпечення їх подальшого супроводження. При цьому їх функціонування часто здійснюється у складних метеорологічних умовах, зокрема в умовах тропосферної рефракції. Вимірювання куткових координат існуючими трикоординатними радіолокаторами здійснюється в основному без врахування динаміки зміни поточного стану тропосфери Землі, тому стаття присвячена дослідженню впливу даного фактору на точність вимірювання куткових координат повітряних об'єктів. У статті проведено чисельний аналіз можливого зниження якості просторових вимірювань, які здійснюють трикоординатні радіолокатори, в залежності від ступеня викривлення фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу внаслідок впливу тропосферної рефракції. Для вирішення завдання оцінювання можливих значень статистичних характеристик флуктуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу використані методи математичної статистики та теорії ймовірностей. Результатами статті є методика чисельного аналізу впливу даних статистичних характеристик на точність вимірювання куткових координат з визначенням відповідних середньоквадратичних помилок вимірювання стосовно трикоординатних оглядових радіолокаторів та радіолокаторів супроводження. Отримані результати можуть бути в подальшому використані при оцінюванні можливостей трикоординатних радіолокаторів щодо виявлення та супроводження аеродинамічних об'єктів у складних метеорологічних умовах, зокрема в умовах надрефракції при радіолокаційному спостереженні на приморських напрямках.

Ключові слова: висота, градієнт коефіцієнта заломлення, кутові координати, радіолокаційне спостереження, рефракція, середньоквадратична помилка, точність вимірювання, тропосфера, трикоординатні радіолокатори, флуктуації фазового фронту.

Вступ

Постановка проблеми. Оновлення парку радіолокаційних станцій пов'язано з введенням в експлуатацію мобільних, цифрових та переважно трикоординатних радіолокаторів. Розвиток елементної бази та технологій побудови антенних систем обумовили широке використання в сучасних радіолокаторах цифрових фазованих антенних решіток (ФАР).

Трикоординатні радіолокатори окрім вимірювання похилої дальності та азимуту повинні забезпечувати вимірювання кута місця для подальшого розрахунку висоти аеродинамічного об'єкта. Двокоординатні радіолокатори для виконання цього завдання мають працювати узгоджено з радіовисотомірами.

При цьому, як для трикоординатних радіолокаторів так й для радіолокаційних висотомірів забезпечення високої точності вимірювання кута місця й висоти невід'ємно пов'язано з необхідністю врахування поточного стану атмосфери. Актуальність даного питання зростає ще більше, якщо локація аеродинамічних об'єктів здійснюється в умовах тропосферної рефракції за межами радіогоризонту, оскільки в даних умовах флуктуаційні явища при поширенні радіолокаційного сигналу стають найбільш суттєвими.

Тропосферні неоднорідності шарового та турбулентного типів є причиною виникнення флуктуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу, що здатні призводити до значного зниження його просторової когерентності. Найбільш суттєво

вказаний фактор здатний вплинути на якість просторових вимірювань в радіолокаторах з ФАР, у яких реалізовано фазовий метод вимірювання куткових координат.

Таким чином, оцінювання точності вимірювання куткових координат у трикоординатних радіолокаторах в умовах тропосферної рефракції дозволить зробити висновок про доцільність врахування флуктуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу при його просторовій обробці. Особливої важливості вказаний висновок має для багатфункціональних радіолокаторів слідкувального типу, що повинні здійснювати траєкторні вимірювання з високою точністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Постійно зростаючи вимоги до точності вимірювання поточних координат аеродинамічних об'єктів обумовлюють необхідність дослідження впливу на неї поточного стану атмосфери. Метеорологічним питанням, що стосуються стану атмосфери та особливостям радіолокації в цих умовах присвячені роботи [1-4].

Розвиток сучасної радіолокаційної техніки неможливий без ретельного оцінювання зовнішніх впливів зокрема стану атмосфери, на якість обробки радіолокаційної інформації.

В роботі [5] наведено математичний апарат, що дозволяє здійснювати оцінювання статистичних характеристик флуктуацій фазового фронту радіолокаційного сигналу, які обумовлені наявністю тропосферних та іоносферних неоднорідностей земної атмосфери. При цьому механізм виникнення вказаних флуктуацій детально викладений у [6].

Особливості просторових вимірювань при виконанні радіолокатором завдань за призначенням в умовах локації над поверхнею моря розглядалися у [7]. Встановлено, що морська поверхня є джерелом процесів у тропосфері, які призводять до флуктуацій фазового фронту радіохвиль, що поширюються крізь тропосферні неоднорідності. При цьому статистичні характеристики даних флуктуацій є експериментально підтвердженими у [8].

Доцільним є продовження досліджень пов'язаних з впливом поточного стану тропосфери на точність вимірювання кутових координат аеродинамічних об'єктів з визначенням доцільних напрямків подальшої оптимізації просторових вимірювань в сучасних трикоординатних радіолокаторах.

Метою статті є проведення чисельного аналізу можливого зниження якості просторових вимірювань, які здійснюють трикоординатні радіолокатори, в залежності від ступеня викривлення фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу внаслідок впливу тропосферної рефракції.

Виклад основного матеріалу

Головною перевагою трикоординатних радіолокаторів оглядового типу є можливість визначення висоти аеродинамічного об'єкта по виміряним в процесі первинної обробки радіолокаційної інформації похилої дальності та куту місця. Кут місця аеродинамічного об'єкта можна визначити шляхом:

- секторного сканування дзеркальною антеною у кутомісцевій площині (реалізовано у рухомих радіовисотомірах (РРВ), наприклад у таких, як РРВ-13 та РРВ-16 [9, 10]);

- кругового сканування дзеркальною антеною у азимутальній площині віялоподібною діаграмою спрямованості (реалізовано у радіолокаторах, антени яких мають куточастотну чутливість, наприклад 19Ж6, 35Д6 та їх модифікації 36Д6М [11]);

- кругового сканування ФАР у азимутальній площині з визначенням кута місця фазовим методом (реалізовано у оглядових радіолокаторах з ФАР та радіолокаторах підсвіту та наведення зенітних ракетних комплексів, що здійснюють супроводження аеродинамічних об'єктів).

Слід зауважити, що рухомі радіовисотоміри можна вважати трикоординатними радіолокаторами, однак в практичних випадках виконання завдань за призначенням вони потребують інформації про очікуваний азимут об'єкта радіолокаційного спостереження від інших засобів.

Радіолокатори, які оснащені антенами з куточастотною чутливістю є трикоординатними, але внаслідок конструктивних особливостей, кількість створюваних променів діаграми спрямованості в кутомісцевій площині та відповідних каналів часо-частотної обробки радіолокаційного сигналу є обмеженою. Внаслідок цього, обмеженою є точність вимірювання кута місця. Тобто визначення кута місця і висоти аеродинамічного об'єкта в таких радіолокаторах є достатньо грубою.

Перспективним шляхом забезпечення високої точності вимірювання вказаних координат є застосу-

вання в радіолокаторах ФАР з реалізацією багатоканальної просторової обробки радіолокаційного сигналу [12]. Сучасний розвиток цифрових ФАР, застосування адаптивних алгоритмів цифрової обробки сигналів та поступове зниження вартості технічної реалізації даних рішень вказують на те, що розробка та модернізація саме таких радіолокаторів є пріоритетним напрямком покращення точності вимірювання просторових координат аеродинамічних об'єктів.

При застосуванні ФАР в оглядових радіолокаторах визначення кута місця, а в слідкувальних радіолокаторах визначення двох просторових координат, найчастіше за все забезпечується шляхом застосування фазового методу. Згідно даного методу здійснюється вимірювання кутів нахилу фазового фронту відбитого радіолокаційного сигналу відносно апертури приймальної антени. При цьому, кутова координата визначається за різницею фаз коливань сусідніх приймальних каналів (елементів ФАР) [5, 12].

Оскільки в оглядових радіолокаторах з ФАР азимут найчастіше визначається амплітудним методом, а радіолокатори супроводження отримують попередню оцінку азимуту у вигляді цілєвказівки, питання оцінювання якості просторових вимірювань є актуальними насамперед стосовно визначення кута місця та оцінювання висоти аеродинамічного об'єкта. Кут місця аеродинамічного об'єкта відносно нормалі до апертури приймальної антени визначається за таким співвідношенням [12]

$$\varepsilon = \arcsin(\varphi_k \lambda / (2\pi(k-1)d)), \quad (1)$$

де φ_k – фазовий зсув між k -м і першим елементом ФАР; λ – довжина хвилі радіолокатору; d – крок антенної решітки.

За виміряним значенням кута місця може бути визначена висота аеродинамічного об'єкта з урахуванням кривизни Землі та без урахування тропосферної рефракції за формулою, якою найчастіше користуються на практиці

$$H = r \sin \varepsilon + r^2 / (2R_{ze}) + h_a, \quad (2)$$

де r – похила дальність аеродинамічного об'єкта; R_{ze} – еквівалентний радіус Землі; h_a – висота розташування радіолокатора над поверхнею, відносно якої здійснюється відлік висоти аеродинамічного об'єкта.

Можливості радіолокатору щодо спостереження аеродинамічних об'єктів, особливо тих що рухаються на малих і гранично малих висотах, значно покращуються, при використанні явища тропосферної рефракції радіохвиль. При цьому можливим є забезпечення спостереження об'єктів за межами дальності прямої видимості [13, 14].

В даному випадку вплив тропосферної рефракції призводить до виникнення додаткових рефракційних помилок вимірювання кута місця, які визначаються викривленням променя і залежать від градієнта коефіцієнта заломлення n в напрямку його поширення в атмосфері [15]

$$\text{grad}n = g_n = dn/dr = n'. \quad (3)$$

Якщо середовище поширення радіохвиль характеризується постійним градієнтом коефіцієнта заломлення в напрямку поширення сигналу радіолокатора ($\text{grad}n = \text{const}$), то викривлення променя може бути описано дугою з радіусом кривизни

$$\rho = 1/n', \quad (4)$$

де $n' = g_n$ – градієнт коефіцієнта заломлення.

При відхиленні траєкторії поширення радіохвилі від прямолінійної виникає рефракційна похибка $\Delta\varepsilon_p$, яка являє собою кутове відхилення та визначається виразом виду [15]:

$$\Delta\varepsilon_p = 0,5(r/2\rho) = 0,5 \cdot r \cdot n'.$$

Рефракційна похибка (5) обумовлює радіальне відхилення Δr_p , яке визначає радіальне зміщення точки спостереження, що знаходиться на відстані r від радіолокатора, внаслідок впливу тропосферної рефракції

$$\Delta r_p = r \cdot \Delta\varepsilon_p. \quad (6)$$

Теоретично, при постійному градієнті коефіцієнта заломлення рефракційні поправки $\Delta\varepsilon_p$ та Δr_p можна вважати детермінованими, які можна розрахувати для певної дальності польоту аеродинамічного об'єкта та врахувати в процесі визначення його просторового положення. Реально ж градієнт коефіцієнта заломлення в атмосфері залежить від шляху проходження радіохвилі та в кожній точці цього шляху має власне значення

$$n' = n'(s), \quad (7)$$

де s – поточне значення відстані від точки випромінювання до точки на шляху поширення радіохвилі.

Таким чином, в реальному випадку траєкторія променя являє собою криву зі складною формою (рис. 1) [15].

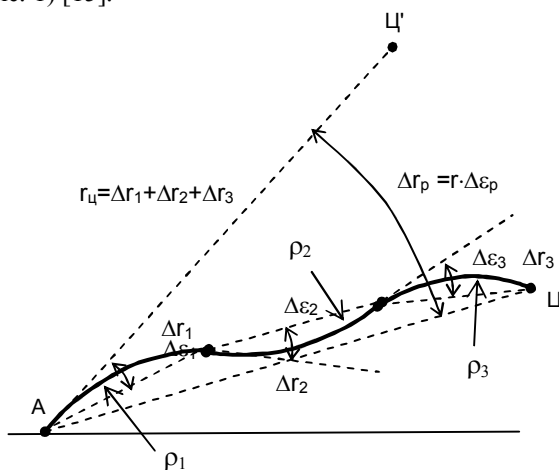


Рис. 1. До визначення рефракційної поправки при змінному градієнті коефіцієнта заломлення

З рис. 1 видно, що при змінному градієнті коефіцієнта заломлення для визначення рефракційної похибки $\Delta\varepsilon_p$ потрібно розбити траєкторію радіохвилі на окремі ділянки $\Delta\Gamma$, в межах яких градієнт

коефіцієнта заломлення можна вважати постійним ($n' = \text{const}$). На рис. 1 показано три таких ділянки. В такому випадку загальну рефракційну похибку $\Delta\varepsilon_p$ на траєкторії поширення радіохвилі буде визначитися як сума часткових рефракційних похибок за кожен ділянку. Очевидно, що точність обчислення відповідної рефракційної поправки буде напряму залежати від знання закону зміни $n'(s)$.

В дійсному, величини n і n' залежать від висоти над землею поверхнею та від достатньо нестабільного стану атмосфери (особливо у нижніх шарах) і в кожній точці на шляху поширення радіохвилі мають власні значення. Вказане свідчить про те, що залежності $n(s)$ та $n'(s)$ носять складний і значною мірою випадковий характер [15]. У тропосфері для частот, що не перевищують 20 ГГц, показник заломлення визначається виразом [6]:

$$n = 1 + \frac{77,6 \cdot 10^{-4}}{T} \left(P + \frac{4810 \rho_n}{T} \right), \quad (8)$$

де T – абсолютна температура в градусах Кельвіна; P – тиск атмосфери в мілібарах; ρ_n – абсолютна вологість повітря в мілібарах. Тобто, випадковий характер змін тиску, температури і вологості тропосфери є причиною виникнення флуктуацій показника її заломлення, що у свою чергу призводить до флуктуацій фази радіолокаційного сигналу.

Можна визначити два шляхи подолання проблеми випадковості коефіцієнта заломлення.

Перший шлях пов'язаний з необхідністю здійснення спеціального зондування атмосфери на шляху поширення радіохвилі з метою оперативного визначення закону зміни градієнта коефіцієнта заломлення $n'(s)$ і розрахунку відповідної рефракційної поправки. Практична реалізація даного рішення є складною та економічно недоцільною, оскільки потребує застосування достатньо густої мережі метеостанцій, що з певною періодичністю здійснюють вертикальне зондування атмосфери.

Другий шлях передбачає проведення статистичної оптимізації алгоритмів просторової обробки радіолокаційного сигналу з метою врахування в них корельованих флуктуацій його фази, які у свою чергу обумовлені флуктуаціями величин n і n' .

Розв'язання цього завдання є складним з точки зору теорії радіолокації та пов'язано із суттєвим ускладненням алгоритмів первинної обробки радіолокаційного сигналу. Вказане свідчить про необхідність оцінювання можливих помилок вимірювання кутових координат аеродинамічного об'єкта в умовах тропосферної рефракції, та розрахунку відповідних радіальних відхилень в горизонтальній та вертикальній площинах для радіолокаторів з ФАР. Даний аналіз дозволить визначити умови, за якими викладені вище шляхи врахування флуктуацій величин n і n' є виправданими.

Згідно експериментальних даних дослідження фазових флуктуацій, закон їх розподілу є близьким до нормального, а кореляційна функція апроксимуються експоненційною або осцилюючою залежнос-

тями [16-23]. Припущення відносно нормального закону розподілу фазових флуктуацій теоретично повністю узгоджується з центральною граничною теоремою теорії ймовірностей, оскільки число статистично незалежних неоднорідностей в області суттєвої для поширення радіохвиль є великим.

Дисперсія σ_φ^2 фазових флуктуацій обумовлених впливом неоднорідностей тропосфери, згідно [5], може бути розрахована за наступним виразом

$$\sigma_\varphi^2 = 0,1C_\varepsilon^2 k^2 z L_0^{5/3}, \quad (9)$$

де $C_\varepsilon^2 = 2 \sigma_\varepsilon^2 / L_0^{2/3}$ – структурна постійна; σ_ε^2 – дисперсія флуктуацій діелектричної проникності тропосфери; L_0 – зовнішній масштаб турбулентності тропосфери; $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число; z – шлях хвилі в тропосфері.

Радіус кореляції фазових флуктуацій ρ_φ , згідно [5], визначається за виразом

$$\rho_\varphi = (11C_\varepsilon^2 z / \lambda^2)^{-3/5}. \quad (10)$$

Величина квадрата структурної постійної може бути обрана від $10^{-13} \text{ см}^{-2/3}$ в нижніх шарах до $10^{-18} \text{ см}^{-2/3}$ в верхніх шарах тропосфери [5] і практично не залежить від частоти.

На рис. 2 наведено графіки залежності дисперсії (9) від шляху хвилі у тропосфері для довжин хвиль $\lambda = 3 \text{ см}$ (графіки 1 і 3) та $\lambda = 10 \text{ см}$ (графіки 2 і 4), що є характерними значеннями для радіолокаторів супроводження та оглядового типу відповідно. Зовнішній масштаб неоднорідності L_0 обрано 1 км [5]. На рис. 3 надані графіки залежності радіусу кореляції фазових флуктуацій (10) від шляху хвилі у тропосфері для умов, аналогічних рис. 2.

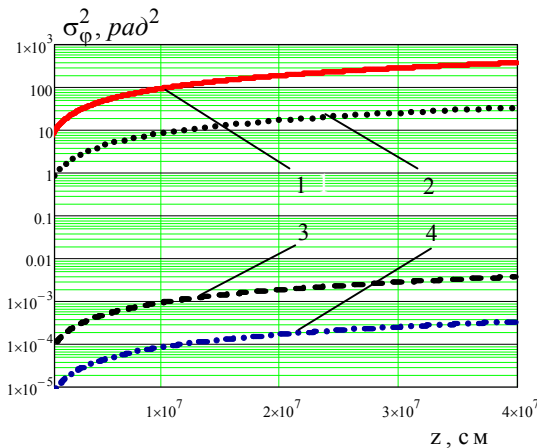


Рис. 2. Залежність дисперсії фазових флуктуацій від шляху хвилі у тропосфері

На рис. 2 і 3 графіки 1 і 2 відповідають величині квадрата структурної постійної $C_\varepsilon^2 = 10^{-13} \text{ см}^{-2/3}$, яка є характерною для нижніх шарів тропосфери, а графіки 3 і 4 відповідають $C_\varepsilon^2 = 10^{-18} \text{ см}^{-2/3}$ та характеризують вплив верхніх шарів тропосфери.

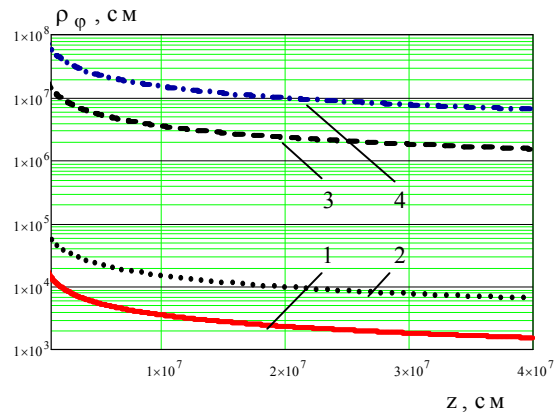


Рис. 3. Залежність радіусу кореляції фазових флуктуацій від шляху хвилі у тропосфері

На даних графіках величина σ_φ^2 визначається у рад^2 , а величини ρ_φ та z в см.

У радіолокаторів з ФАР з довжиною хвилі зондувального сигналу $\lambda = 3 \dots 5 \text{ см}$, що вирішують завдання супроводження, дальність виявлення аеродинамічних об'єктів може складати 100...200 км. Радіолокатори оглядового типу з ФАР, що працюють на довжині хвилі $\lambda = 10 \dots 12 \text{ см}$, здатні здійснювати радіолокаційне спостереження аеродинамічних об'єктів на дальностях до 350...400 км [12, 24].

З урахуванням цього, область аналізу для радіолокаторів супроводження обмежується діапазоном значень шляху хвилі у тропосфері $z = 50 \dots 200 \text{ км}$, а для радіолокаторів оглядового типу – $z = 50 \dots 400 \text{ км}$.

На рис. 2 і 3 з графіку 1 видно, що для радіолокатору супроводження з $\lambda = 3 \text{ см}$ при зміні шляху хвилі у нижніх шарах тропосфери ($C_\varepsilon^2 = 10^{-13} \text{ см}^{-2/3}$) від 50 до 200 км, дисперсія фазових флуктуацій знаходиться в діапазоні значень від 47,3 до 189 рад^2 , а і радіус кореляції фазових флуктуацій – від 53,5 до 23,3 м. З графіку 2 слідує що, для радіолокатору оглядового типу з $\lambda = 10 \text{ см}$ стосовно поширення хвилі у нижніх шарах тропосфери від 50 до 400 км, відповідний діапазон зміни дисперсії флуктуацій складає від 4,3 до 34 рад^2 , а і радіусу кореляції фазових флуктуацій – від 226,9 до 65,2 м.

При поширенні радіохвиль $z = 50 \dots 200 \text{ км}$ у верхніх шарах тропосфери ($C_\varepsilon^2 = 10^{-18} \text{ см}^{-2/3}$), згідно графіку 3, для радіолокатору супроводження ($\lambda = 3 \text{ см}$), дисперсія фазових флуктуацій знаходиться в межах від $4,8 \cdot 10^{-4}$ до $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ рад}^2$, а радіус кореляції фазових флуктуацій – від 53,5 до 23,3 км. Для радіолокатору оглядового типу ($\lambda = 10 \text{ см}$) при $z = 50 \dots 400 \text{ км}$, згідно графіку 4, зміни дисперсії фазових флуктуацій складають від $4,3 \cdot 10^{-5}$ до $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2$, а радіус кореляції фазових флуктуацій – від 226,9 до 65,2 км. Таким чином, отримані чисельні дані дозволяють стверджувати, що можна

очікувати можливості знехтування впливом фазових флуктуацій у верхніх шарах тропосфери внаслідок їх малої інтенсивності та високої кореляції. Вплив фазових флуктуацій, що обумовлені нижніми шарами тропосфери, очікується навпаки суттєвим з можливістю значного погіршення якості просторових вимірювань у радіолокаторах з ФАР як слідкувального так й оглядового типів.

В роботі [25] показано, що для експонентної кореляційної функції фазових флуктуацій, дисперсія флуктуаційної складової помилки вимірювання кутової координати в радіолокаторі з ФАР визначається згідно виразу

$$\sigma_{\theta_{\phi l}}^2 = \frac{9\sigma_{\phi}^2 \lambda^2}{2\pi^2 d^2 (N/2)^2 (4(N/2)^2 - 1)^2} \left[\sum_{j=1}^{N/2} (2j-1)^2 (1 - \exp(-\frac{d}{\rho_{\phi}} (2j-1))) + 2 \sum_{l=1}^{N/2-j} \exp(-\frac{d}{\rho_{\phi}} l) \sum_{j=1}^{N/2-1} (2j-1) - 1) (2j+2l-1) (1 - \exp(-\frac{d}{\rho_{\phi}} \cdot (2j-1))) \right]. \quad (11)$$

де N - кількість каналів (елементів) ФАР.

Вираз (11) дає можливість розрахувати флуктуаційні відхилення просторового положення аеродинамічного об'єкта у вертикальній площині (флуктуації висоти) та у горизонтальній площині, що виникають внаслідок тропосферної рефракції.

Флуктуаційне відхилення у вертикальній площині може бути визначено з (2) з урахуванням (11):

$$\Delta H = r \sin \sigma_{\theta_{\phi l}}, \quad (12)$$

де $\sigma_{\theta_{\phi l}}$ - середньоквадратичне відхилення флуктуаційної складової помилки вимірювання кута місця аеродинамічного об'єкта, яке може бути розраховано згідно (11).

Флуктуаційне відхилення просторового положення аеродинамічного об'єкта у горизонтальній площині є радіальним відхиленням (6), яке з урахуванням (11) визначається таким чином

$$\Delta r_p = r \cdot \sigma_{\theta_{\phi l}}. \quad (13)$$

Вирази (12) і (13) свідчать про те, що флуктуаційні відхилення просторового положення аеродинамічного об'єкта у вертикальній і горизонтальній площині приймають ідентичні значення тому їхній аналіз матиме спільний характер

На рис. 4 надані графіки залежності флуктуаційних відхилень просторового положення аеродинамічного об'єкта у вертикальній та горизонтальній площинах від шляху хвилі у тропосфері.

Згідно проведеного аналізу графіків на рис. 2 і 3, наведені на рис. 4 залежності відповідають випадку флуктуацій хвильового фронту радіолокаційного сигналу, обумовлених впливом нижніх шарів тропосфери (структурна постійна складає $C_{\epsilon}^2 = 10^{-13} \text{ см}^{2/3}$). Окрім того має практичну користь оцінювання впливу на флуктуаційні відхилення ΔH і Δr_p зовнішнього масштабу турбулентності тропосфери L_0 .

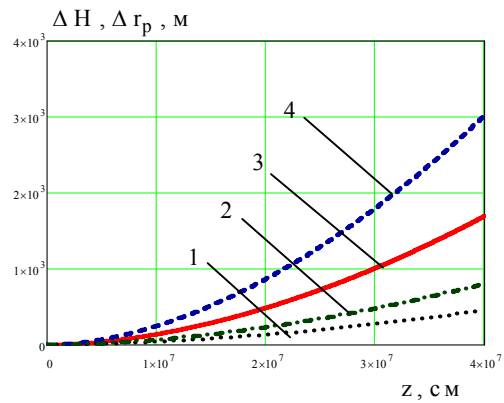


Рис. 4. Залежності флуктуаційних відхилень просторового положення аеродинамічного об'єкта у вертикальній та горизонтальній площинах від шляху хвилі у тропосфері

Графіки на рис. 4 відповідають радіолокатору з ФАР, що містить $N = 50$ елементів, та побудовані для наступних випадків: 1 - $\lambda = 10 \text{ см}$, $L_0 = 1 \text{ км}$; 2 - $\lambda = 10 \text{ см}$, $L_0 = 2 \text{ км}$; 3 - $\lambda = 3 \text{ см}$, $L_0 = 1 \text{ км}$; 4 - $\lambda = 3 \text{ см}$, $L_0 = 2 \text{ км}$.

З отриманих графіків видно, що на досліджувані відхилення ΔH і Δr_p , суттєвий вплив здійснюють розмір тропосферних неоднорідностей та діапазон довжин хвиль радіолокатору. Так, при збільшенні зовнішнього масштабу турбулентності тропосфери з 1 до 2 км, флуктуаційні горизонтальне та вертикальне просторове відхилення зростає у 1,78 разів. При збільшенні довжини хвилі радіолокатору з 3 см до 10 см, дані відхилення зростають у 3,8 разів.

Практичну користь має оцінювання величин флуктуаційних складових вертикального та горизонтального відхилення в залежності від дальності радіолокаційного спостереження для радіолокаторів оглядового типу та супроводження.

Для радіолокаторів оглядового типу ($\lambda = 10 \text{ см}$) з ФАР на відстанях від 50 до 400 км, вказані флуктуаційні відхилення зростають з 10,7 до 450,9 м при $L_0 = 1 \text{ км}$ та з 19 до 803,4 м при $L_0 = 2 \text{ км}$.

Для радіолокаторів супроводження ($\lambda = 3 \text{ см}$) з ФАР, на відстанях виконання завдань за призначенням від 50 до 200 км, досліджувані флуктуаційні відхилення можуть складати від 40,2 до 486,8 м при $L_0 = 1 \text{ км}$ та від 71,5 до 867,4 м при $L_0 = 2 \text{ км}$.

Проведений аналіз відповідає статистичним характеристикам фазових флуктуацій наведеними у [26], а отримані оцінки узгоджуються з результатами наведеними у [27]. Очевидно, що загальне флуктуаційне відхилення просторового положення аеродинамічного об'єкта визначається як сума розглянутих вище відхилень

$$\Delta R = \Delta H + \Delta r_p. \quad (14)$$

На рис. 5 наведені графіки залежності флуктуаційної складової середньоквадратичної помилки вимірювання кутової координати $\sigma_{\theta_{\phi l}}$ в радіолокаторі з ФАР, що розрахована за допомогою (11), від шляху хвилі у тропосфері.

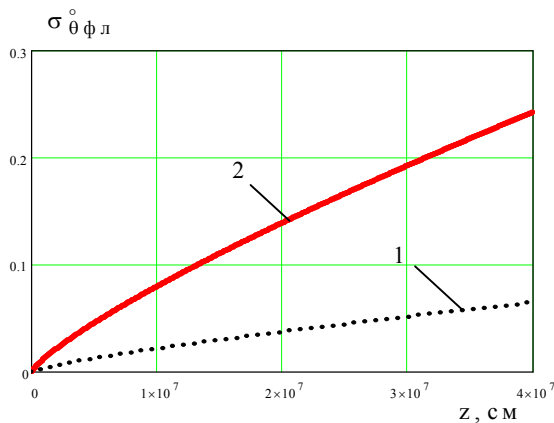


Рис. 4. Залежності флукуаційної складової середньоквадратичної помилки вимірювання кутової координати аеродинамічного об'єкта від шляху хвилі у тропосфері

Графіки 1 ($\lambda = 10$ см) та 2 ($\lambda = 3$ см) отримано для радіолокатору з ФАР, що містить $N = 50$ елементів за умовами впливу тропосферної рефракції з $C_{\epsilon}^2 = 10^{-13}$ см $^{-2/3}$ та $L_0 = 1$ км.

Отримані графіки свідчать про те, що фазові флукуації, які обумовлені впливом нижніх шарів тропосфери, здатні викликати суттєві значення флукуаційних помилок вимірювання кутових координат в радіолокаторах з ФАР. При цьому, для радіолокатору з $\lambda = 3$ см дана помилка у 3,3 рази більше ніж у радіолокаторі з $\lambda = 10$ см, що вказує на більшу небезпеку впливу досліджуваних факторів на процес супроводження аеродинамічних об'єктів.

Таким чином, можна стверджувати, що при виконанні радіолокаторами з ФАР завдань за призначенням в умовах впливу тропосферної рефракції, флукуації хвильового фронту радіолокаційного сигналу призводять до флукуаційних відхилень радіолокаційного спостереження аеродинамічних об'єктів у вертикальній та горизонтальній площинах, які здатні складати від десятків до сотень метрів. Вказані флукуаційні явища за своїм впливом є небезпечними для радіолокаторів оглядового типу і су-

проводження в зоні їхньої відповідальності. При цьому, питання врахування флукуацій фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу мають більшу актуальність для радіолокаторів супроводження, внаслідок їх більш суттєвого впливу у відповідному діапазоні довжин хвиль.

Висновки

1. Перспективним шляхом забезпечення високої якості просторових вимірювань є застосування в радіолокаторах фазованих антенних решток, перевагами яких у порівнянні з дзеркальними антенами є можливості реалізації адаптивної просторової цифрової обробки сигналів та визначення просторових координат багатьох аеродинамічних об'єктів одночасно.

2. Вплив тропосферної рефракції призводить до виникнення додаткових рефракційних помилок вимірювання кутових координат аеродинамічних об'єктів. Даний вплив визначається викривленням променя і залежить від градієнта коефіцієнта заломлення в напрямку його поширення в атмосфері. Це у свою чергу призводить до викривлень фазового фронту хвилі радіолокаційного сигналу, що свідчить про необхідність врахування поточного стану атмосфери при визначенні трикоординатними радіолокаторами просторового положення аеродинамічних об'єктів.

3. Величини градієнта коефіцієнта заломлення тропосфери залежать від висоти над землею поверхнею та від достатньо нестабільного стану атмосфери (особливо у нижніх шарах) і в кожній точці на шляху поширення радіохвилі мають власні значення, які обумовлені флукуаціями тиску, температури і вологості тропосфери.

4. Мала інтенсивність та висока кореляція фазових флукуацій, що обумовлені впливом верхніх шарів тропосфери, свідчить про можливість їх знехтування, але вплив фазових флукуацій, що обумовлені нижніми шарами тропосфери, є досить суттєвим. Чисельне оцінювання вказує на те, що флукуаційні горизонтальне та вертикальне просторове відхилення в радіолокаторах з ФАР можуть зростати до декількох разів та складати сотні метрів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Использование радиочастотного спектра в метеорологии: прогнозирование и мониторинг погоды, климата и качества воды. Справочник. – WMO, 2008. – 120 с.
2. Горелик А. Г. Радиолокационная метеорология и перспективы ее развития. // Всероссийская конференция "Радиолокация и радиосвязь". – ИРЭ РАН, 26-30 октября 2009. – С. 400-404.
3. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылев Г.Б. и др.; отв. ред. Г.Б. Брылев. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 209 с.
4. Климченко В.Й. Аналіз потенційних можливостей оглядових РЛС сантиметрового діапазону хвиль щодо забезпечення дій авіації Повітряних Сил України метеорологічною інформацією / В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, В.Л. Місайлов // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2011. №1 (25). С. 21–27.
5. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / под. ред. Я.Д. Ширмана. – М.: З.А.О. «МАКВИС», 1998. – 828 с.
6. Флюктуационные процессы при распространении радиоволн / М.П. Долуханов – М.: Связь, 1971. – 183 с.
7. Карлов В.Д. Влияние среды распространения радиоволн на приморском направлении при измерении угловых координат радиолокационных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, В.В. Челпанов, К.П. Квиткин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 3 (25). – С. 51-53.
8. Карлов В.Д. Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів відбитих від місцевих предметів в умовах аномальної рефракції. / В.Д. Карлов, А.О.Родюков, І.М.Пічугін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – Вип. 4 (21). – С. 71-74.

9. Озброєння радіотехнічних підрозділів і частин ППО. Пересувний радіовисотомір ПРВ-13МЗР. Навчальний посібник / С.П. Володько, В.Д. Говоров, В.І. Зверев та ін. – Х.:ХВУ, 2002. – 142 с.
10. Подвижный радиовисотомер ПРВ-16. Учебное пособие / Г.В.Индус, А.А. Ваганов, В.П.Козлов и др. — М.: Воениздат, 1979. — 224 с.
11. Радиолокационная станция 36Д6М. Эксплуатация и техническое обслуживание РЛС 36Д6М. Учебное пособие / И.Я. Май, А.Г. Каспирович, В.А. Винник и др.. — Запорожье, КЭМЗ "Искра", 2006. — 140 с.
12. Радіоелектронні системи / Ю.М. Седишев, В.І. Карпенко, Д.В. Атаманський та ін. – Х: ХУПС, 2010. – 418 с.
13. Карлов В.Д. До питання про вимірювання дальності маловисотної цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем / В.Д. Карлов, Д.Б. Кучер, О.В. Струцинський, О.В. Лукашук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3 (24). – С. 98-101.
14. Карлов В.Д. Про вплив механізму розповсюдження радіохвиль на локацію цілей в тропосферному радіохвилеводі над морем / В.Д. Карлов, О.В. Бесова, М.М. Олещук, М.М. Петрушенко // Новітні технології-для захисту повітряного простору: зб. тез доповідей 10 НК ХУПС. 9-10 квітня 2014 р. – 2014. – С. 254.
15. Климченко В.Й. Вимірювання висоти польоту цілей в радіолокаторах контролю повітряного простору з урахуванням поточного стану тропосферної рефракції / В.Й. Климченко, Г.Г. Камалтинов, В.Л. Місайлов, Г.В. Рибалка // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 3 (61). – С. 86-95.
16. Карлов В.Д. Результати експериментальних досліджень особливостей локації маловисотних цілей, що здійснюють політ над морською поверхнею / В.Д. Карлов, М.М. Олещук, Г.В. Певцов, В.Л. Місайлов // Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем IPST.– 2014. – С. 35.
17. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
18. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
19. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, Computer Communications, Volume 154, Pages 501-508, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079>.
20. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Mohammed, A. S., Manikandan, V., Porkodi, V., & Yuvaraj, N. (2019). Improved Enhanced Dbtma with Contention-Aware Admission Control to Improve the Network Performance in Manets. CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA, 60(2), pp. 435-454, DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06295>
21. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
22. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, International Journal of Engineering and Advanced Technology, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
23. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S. and Sivaram M. (2018), “Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering”, ICTACT Journal on Soft Computing, Vol. 9, Issue 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: 10.21917/ijsc.2018.0252
24. Справочник. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Издание второе, переработанное и дополненное / Я. Ширман, С. Багдасарян, А. Маляренко и др. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
25. Кузнецов О.Л. Обмеження якості просторових вимірювань в РЛС з фазованою антенною решіткою внаслідок впливу атмосферних неоднорідностей та земної поверхні / О.Л. Кузнецов, О.Б. Танцюра, О.Л. Мельник // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип.1 (21) Том 2. – П., 2012.– С. 49-52.
26. Вопросы статистической теории антенн / Я.С. Шифрин – М: Сов. радио, 1970. – 383 с.
27. Providing the Required Accuracy of Measurements of Spatial Coordinates of Aerial Objects / O. Kuznietsov, V Kovalchuk, A Kovalchuk, D Karlov, S Yarovyuy, V. Vasylyshyn // 2020 IEEE 6th Int. Symp. on Microwaves, Radar and Remote Sensing (MRRS), UkrMW, Kharkiv, Ukraine, 2020, p. 226-229.

Received (Надійшла) 01.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Accuracy of measurement of aerodynamic objects angular coordinates under tropospheric refraction conditions

Vladimir Karlov, Oleksandr Kuznietsov, Vladimir Belousov, Sergey Tuzikov, Mykola Oleschuk, Valentin Petruschenko

Abstract. Three-coordinate radars are the most versatile, from a technical point of view, means of determining the spatial position of aerodynamic objects and ensuring their further tracking. Moreover, their functioning is often carried out in difficult meteorological conditions, in particular in conditions of tropospheric refraction. Measurement of angular coordinates by existing three-coordinate radars is implemented mainly without taking into account the dynamics of changes in the current state of the Earth's troposphere, therefore the article is devoted to the study of the influence of this factor on the accuracy of measuring the angular coordinates of air objects. The article provides a numerical analysis of a possible decrease in the quality of spatial measurements, which are carried out by three-coordinate radars, depending on the degree of distortion of the phase front of the radar signal wave due to the influence of tropospheric refraction. To solve the problem of estimating the possible values of the statistical characteristics of fluctuations of the phase front of a wave of a radar signal, the methods of mathematical statistics and the theory of probability were used. The result of the article is a methodology for the numerical analysis of the influence of these statistical characteristics on the accuracy of measuring angular coordinates with the determination of the corresponding root-mean-square measurement errors with respect to three-coordinate surveillance radars and tracking radars. The obtained results can be further used in assessing the capabilities of three-coordinate radars to detect and track aerodynamic objects in difficult meteorological conditions, in particular, under super-refraction conditions during radar observation in coastal directions.

Keywords: altitude, refractive index gradient, angular coordinates, radar observation, refraction, root-mean-square error, measurement accuracy, troposphere, three-coordinate radar, phase front fluctuations.

М. О. Можаяєв

Національний науковий центр «Інститут судових експертиз імені М.С. Бокаріуса», Харків, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Об'єктом дослідження є методи побудови математичної моделі оптичних каналів передачі інформації в інформаційній системі судової експертизи, предметом дослідження – оптичні канали передачі інформації. Наводяться результати аналізу передачі інформації у інформаційній системі судової експертизи, які встановили, що при використанні оптичних каналів зв'язку найбільші проблеми виникають через неоднорідність середовища поширення. Тому задача організації контролю стану обміну інформації в комп'ютерних мережах інформаційної системи є бузумовна актуальною. Вирішення цієї складної і багатогранної задачі в статті базується на попередніх дослідженнях, які були виконані з використанням формалізму континуальних інтегралів (КІ) Феймана. Метою даної статті є удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації в інформаційній системі судової експертизи. В ході дослідження використовуються методи математичної фізики, теорії поля, математичної статистики та теорії ймовірностей, нелінійної оптики, теорії систем. Дані методи були інтегровані в загальний метод, що дозволило удосконалити математичну модель оптичних каналів передачі інформації. Використовуючи аналітичні співвідношення, отримані в попередній статті, були сформульовані рівняння кореляційних функцій, в тому числі, і довільного порядку. Це стало можливим при використанні континуальних інтегралів Феймана. В статті наведено аналіз отриманих рівнянь для деяких часткових умов. У статті встановлено, що використання КІ дозволяє просто записувати як рішення рівнянь будь-якого порядку (хоча звичайно запис рішення у вигляді КІ є перенесенням труднощів з однієї області - рішення рівнянь в приватних похідних в іншу, тому що точно обчислюються КІ лише спеціального виду - гаусові), так і вирази для таких величин, які не можуть бути описані замкнутими рівняннями, уникаючи при цьому введення зайвих параметрів. Складність і труднощі рішення рівнянь для моментів зростає з ростом їх порядку: якщо рівняння навіть для просторових функцій когерентності першого і другого порядків вирішуються в загальному вигляді, то аналітичне рішення рівняння для більш високих моментів отримати вже не вдається. Зазвичай для розчеплення ланцюжка і отримання замкнутих рівнянь для моментів даного порядку приймаються певні статистичні гіпотези про рішення. При формулюванні завдання в термінах КІ такі статистичні гіпотези проявляються як деякі наближення для подінтегрального вираження, що дозволяє простежити за характером наближень і визначити межі їх застосовності. Таким чином, з'явилася теоретична можливість удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації на основі використання формалізму КІ для отримання рівняння кореляційних функцій.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, інформаційна система судової експертизи, оптичний канал зв'язку, математична модель, континуальний інтеграл, параболічне хвильове рівняння.

Вступ

Комп'ютерні системи та комп'ютерні мережі (КМ) в сучасному світі стають визначальними для якості функціонування систем управління і прийняття рішень в різних сферах життєдіяльності людини. Значною мірою це відноситься і до систем критичного застосування, для яких існують суворіші вимоги щодо якості, надійності, достовірності та швидкості передачі інформації. Судово-експертна система «Автоматизована система накопичення емпіричних даних по практиці комп'ютерно-технічних експертиз» може бути віднесена до систем критичного застосування з-за підвищених вимог до методів отримання, обробки, передачі та зберігання інформації, якою оперує дана система. Тому телекомунікаційна мережа ІС судової експертизи повинна забезпечувати дотримання жорстких вимог по підтримці параметрів якості обслуговування (QoS), що в підсумку дозволить всій інформаційній системі вирішити поставлені перед нею завдання [1-18].

Отже, вдосконалення існуючих систем передачі інформації і проектування нових телекомунікаційних систем є важливим фактором підвищення якості обслуговування всієї ІС судової експертизи.

Аналіз літератури. Проблеми забезпечення необхідних показників якості обслуговування (QoS) у

комп'ютерних мережах інформаційних систем критичного застосування було присвячено значну кількість робіт [1-18]. У них були визначені основні фактори, які призводять до зниження якості обслуговування в КС. Ці фактори можна розділити на кілька груп:

- фактори, які визначаються структурою і архітектурою КМ;
- фактори, які визначаються принципами управління і перерозподілу обчислювального ресурсу КМ;
- фактори, які визначаються властивостями і параметрами телекомунікаційного обладнання КМ.

Кожному з цих факторів присвячено багато робіт, але в даній статті основну увагу буде приділено останньому фактору.

У роботі [18] було наведено результати теоретичних досліджень щодо можливості побудови моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтується на використанні формалізму КІ Феймана.

У статті було запропоновано використання формалізму КІ Феймана для вирішення параболічного хвильового рівняння, що описує поширення сигналу в оптичних каналах телекомунікаційної системи та

отримано аналітичні співвідношення для середнього поля точкового джерела, що дозволило говорити про теоретичну можливість побудови моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтується на використанні формалізму КІ Феймана.

Але для побудови більш досконалої моделі процесу передачі інформації в оптичних каналах зв'язку необхідно провести аналіз впливу кореляційних функцій передається оптичного сигналу [19-28].

Для вирішення цього завдання в статті також буде використовуватися формалізм континуальних інтегралів Феймана.

Метою даної статті є визначення можливості удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації з використанням методу КІ за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі приватні задачі:

- отримати рівняння кореляційних функцій сигналу;
- отримати рівняння кореляційних функцій сигналу довільного порядку;
- провести аналіз отриманих рівнянь для деяких часткових умов

Результати досліджень

1. Рівняння для кореляційних функцій $\Gamma_{1,1}$

Для отримання $\Gamma_{1,1}$ потрібно усереднити добуток двох функцій Гріна $G_1 G_2^*$, для кожної з яких використовуємо вираз у вигляді КІ [18]. В результаті отримаємо:

$$\Gamma_{1,1}(\bar{\rho}_1, k_1, \bar{\rho}_2, k_2, z) = \int \left\{ \exp \left\{ \frac{i}{2} \int_{z_0}^z dz' \left[k_1 \dot{\eta}_1^2(z') - k_2 \dot{\eta}_2^2(z') \right] \right\} \Phi[\lambda_{1,1}] D\bar{\eta}_1 D\bar{\eta}_2 \right\}, \quad (1)$$

де інтегрування ведеться по двовимірних траєкторіях з граничними умовами $\bar{\eta}_1(z_0) = \bar{\rho}_{o1}$, $\bar{\eta}_2(z_0) = \bar{\rho}_{o2}$, $\bar{\eta}_1(z) = \bar{\rho}_1$, $\bar{\eta}_2(z) = \bar{\rho}_2$, а функція

$$\lambda_{11}(\bar{p}', z') = \frac{1}{2} h(z' - z_0) h(z - z') \times \left[k_1 \mu(k_1) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_1(z')) - k_2 \mu(k_2) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_2(z')) \right]. \quad (2)$$

Характеристичний функціонал представляється тоді у вигляді:

$$\Phi[\lambda_{1,1}] = \exp \left\{ \int_{z_0}^z dz' \frac{\dot{\theta}_{z'}}{2} \left[k_1 \mu(k_1) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_1(z')) - k_2 \mu(k_2) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_2(z')) \right] \right\}. \quad (3)$$

Вираз (1) з урахуванням (3) дає остаточний результат для в формі континуального інтегралу Феймана, з вигляду якого відразу виписується рівняння

$$\left[\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2i} \left(\frac{1}{k_1} \Delta_{\perp 1} - \frac{1}{k_2} \Delta_{\perp 2} \right) \right] \times \left[-Q(\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2, z; k_1, k_2) \right] \times \Gamma_{1,1}(\bar{\rho}_1, k_1, \bar{\rho}_2, k_2, z) = 0, \quad (4)$$

$$\text{де } Q(\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2, z; k_1, k_2) = \dot{\theta}_z \left[\frac{k_1}{2} \mu(k_1) \delta(\bar{\rho} - \bar{\rho}_1) - \frac{k_2}{2} \mu(k_2) \delta(\bar{\rho} - \bar{\rho}_2) \right];$$

$\Delta_{\perp 1}$, $\Delta_{\perp 2}$ – поперечний лапласіан за координатами $\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2$.

2. Рівняння для кореляційних функцій довільного порядку

Без істотних ускладнень можна отримати і рівняння для моментів довільного порядку. Усереднюючи добуток $G_1 \dots G_n G_1^* \dots G_m^*$ і знову використовуючи для кожного із співмножників подання до вигляді континуального інтегралу Феймана, отримаємо таке:

$$\Gamma_{n,m} = \int \left\{ \exp \left\{ \frac{i}{2} \int_{z_0}^z dz' \left[\sum_{p=1}^n k_p \dot{\eta}_p^2(z') - \sum_{s=1}^m k'_s \dot{\eta}'_s{}^2(z') \right] \right\} \Phi[\lambda_{n,m}] D\bar{\eta} D\bar{\eta}' \right\}, \quad (5)$$

$$\lambda_{n,m}(\bar{p}', z') = \frac{1}{2} h(z' - z_0) h(z - z') \times \left[\sum_{p=1}^n k_p \mu(k_p) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_p(z')) - \sum_{s=1}^m k'_s \mu(k'_s) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}'_s(z')) \right], \quad (6)$$

$$D\bar{\eta} = D\bar{\eta}_1 \dots D\bar{\eta}_n, \quad D\bar{\eta}' = D\bar{\eta}'_1 \dots D\bar{\eta}'_m,$$

а інтегрування проводиться по всіх двовимірних траєкторіях з наступними граничними умовами:

$$\bar{\eta}_p(z_0) = \bar{\rho}_{op}, \quad \bar{\eta}_p(z) = \bar{\rho}_p, \quad p = 1, \dots, n,$$

$$\bar{\eta}'_s(z_0) = \bar{\rho}'_{os}, \quad \bar{\eta}'_s(z) = \bar{\rho}'_s, \quad s = 1, \dots, m.$$

Характеристичний функціонал представляється тоді у вигляді:

$$\Phi[\lambda_{n,m}] = \exp \left\{ \int_{z_0}^z dz' \dot{Q}_{z'} \left[\frac{1}{2} \sum_{p=1}^n k_p \mu(k_p) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}_p(z')) - \frac{1}{2} \sum_{s=1}^m k'_s \mu(k'_s) \delta(\bar{p}' - \bar{\eta}'_s(z')) \right] \right\}. \quad (7)$$

Формула (5) з урахуванням (7) дає вираз для $\Gamma_{n,m}$ в формі континуального інтегралу Феймана, з вигляду якого можна відразу записати відповідне рівняння:

$$\frac{\partial \Gamma_{n,m}}{\partial z} = \frac{i}{2} \left(\sum_{p=1}^n \frac{1}{k_p} \Delta_{\perp p} - \sum_{s=1}^m \frac{1}{k'_s} \Delta'_{\perp s} \right) \Gamma_{n,m} + \dot{Q}_{z'} \left[\frac{1}{2} \sum_{p=1}^n k_p \mu(k_p) \delta(\bar{\rho}' - \bar{\rho}_p) - \frac{1}{2} \sum_{s=1}^m k'_s \mu(k'_s) \delta(\bar{\rho}' - \bar{\rho}'_s) \right] \Gamma_{n,m}. \quad (8)$$

3. Окремі випадки

Вважаючи в (8)

$$k_1 = \dots = k_n = k'_1 = \dots = k'_m = k,$$

прийдемо до рівнянь для просторових кореляційних функцій [28]. В окремому випадку гауссова випадкового поля $\delta\epsilon(\vec{r})$ рівняння (8) раніше були отримані в [29, 30].

Рівняння (8) дуже складні і, на відміну від випадку просторових кореляційних функцій, аналітично розв'язати вже починаючи з випадку $n = m = 1$ у виразі (4).

Для статистично однорідного по поперечним координатам поля $\delta\epsilon(\vec{r})$, коли

$$Q(\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2, z; k_1, k_2) = Q(\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2, z; k_1, k_2),$$

функцію $\Gamma_{1,1}$ можна тільки факторизувати. Для цього в континуальному інтегралі (1) зробимо заміну змінних

$$\bar{\eta} = \bar{\eta}_1 - \bar{\eta}_2, \quad \bar{\xi} = \frac{k_1 \bar{\eta}_1 - k_2 \bar{\eta}_2}{k_1 - k_2}.$$

Тепер змінні інтегрування в (1) поділяються:

$$\Gamma_{1,1}(\bar{\rho}_1, k_1, \bar{\rho}_2, k_2, z) = \int \exp \left\{ \frac{i(k_1 - k_2)}{2} \int_{z_0}^z dz' \dot{\xi}^2(z') \right\} d\bar{\xi} \times \int \exp \left\{ \frac{i}{2} \int_{z_0}^z dz' \left[\frac{k_1 k_2}{(k_1 - k_2)} \dot{\eta}^2(z') - \frac{2}{i} Q(\bar{\eta}(z'), z'; k_1, k_2) \right] \right\} D\bar{\eta}, \quad (9)$$

де траєкторії задовольняють таким граничним умовам:

$$\begin{aligned} \bar{\eta}(z_0) &= \bar{\rho}_{o1} - \bar{\rho}_{o2}; \\ \bar{\eta}(z) &= \bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2; \quad \bar{\xi}(z_0) = \frac{k_1 \bar{\rho}_{o1} - k_2 \bar{\rho}_{o2}}{k_1 - k_2}; \\ \bar{\xi}(z) &= \frac{k_1 \bar{\rho}_1 - k_2 \bar{\rho}_2}{k_1 - k_2}. \end{aligned}$$

З урахуванням нормування вираз (9) можна переписати таким чином:

$$\Gamma_{1,1}(\bar{\rho}_1, k_1, \bar{\rho}_2, k_2; z) = G_o \left(\frac{k_1(\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_{o1}) - k_2(\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_{o2})}{k_1 - k_2}, \frac{z - z_0, k_1 - k_2}{z - z_0, k_1 - k_2} \right) \times f(\bar{\rho}_1 - \bar{\rho}_2, z; k_1, k_2),$$

де функція $f(\bar{\rho}, z; k_1, k_2)$ задовольняє таким рівнянням і початкової умові

$$\begin{cases} \left[\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2i} \left(\frac{1}{k_1} - \frac{1}{k_2} \right) \Delta_{\perp} - Q(\bar{\rho}, z; k_1, k_2) \right] \times \\ \quad \times f(\bar{\rho}, z; k_1, k_2) = 0; \\ f|_{z=z_0} = \delta(\bar{\rho} - \bar{\rho}_{o1} + \bar{\rho}_{o2}). \end{cases}$$

4. Обговорення

Рівняння для моментів можна отримати і іншим, кілька більш громіздким шляхом - перетворюючи в інтегро-диференціальні і усереднюючи відповідні стохастичні рівняння, використовуючи потім умова дельта-коррельованості для розчеплення виникають середніх і, нарешті, переходячи назад до диференціальної форми записи. Навіть останній крок для просторових кореляційних моментів з'явився свого часу нетривіальним завданням.

Крім того, при традиційному підході використання узагальнень формули Фуруцу-Новикова вносить додаткові труднощі, суть яких в наступному.

У фізичних завданнях, описуваних системою диференціальних рівнянь першого порядку по виділеній (будемо називати її часовою) змінній t з початковими умовами $t = 0$, статистичні властивості рішення в момент t визначаються статистичними характеристиками випадкового процесу $z(\tau)$ при $0 \leq \tau \leq t$, які повністю описуються характеристичним функціоналом

$$\Phi[t, \lambda] = \left\langle \exp \left\{ i \int_0^t d\tau \lambda(\tau) z(T) \right\} \right\rangle.$$

В цьому випадку розраховані за формулою Фуруцу-Новикова середні $\langle z(t') R[z] \rangle$ ($R[z]$ - якийсь функціонал від $z(T)$) зазнають розрив в точці $t' = t$, обумовлений некомутативними операціями граничного переходу $t' \rightarrow t$ і розкладання в функціональний ряд Тейлора.

Складність і труднощі рішення рівнянь для моментів зростає з ростом їх порядку: якщо рівняння навіть для просторових функцій когерентності першого $\Gamma_{1,0}$ і другого $\Gamma_{1,1}$ порядків вирішуються в загальному вигляді, то аналітичне рішення рівняння для більш високих моментів отримати вже не вдається.

Використання КІ дозволяє просто записувати як рішення рівнянь будь-якого порядку (хоча звичайно запис рішень у вигляді КІ є перенесенням труднощів з однієї області - рішення рівнянь в приватних похідних в іншу, тому що точно обчислюються КІ лише спеціального виду - гаусові), так і вирази для таких величин, які не можуть бути описані замкнутими рівняннями, уникаючи при цьому введення зайвих параметрів.

Так, наприклад, можна отримати замкнутий рівняння для функції когерентності $\Gamma_{2,2}$, за допомогою якого потім знайти середній квадрат інтенсивності $\langle I^2(\bar{\rho}, z) \rangle$. Однак, як уже зазначалося, аналітично відповідне рівняння не вирішується і містить багато зайвих параметрів, в той час як уявлення $\langle I^2(\bar{\rho}, z) \rangle$ у вигляді КІ цих параметрів не містить. Тому такий запис корисна для вивчення асимптотичних характеристик розподілу ймовірностей інтенсивності.

Як відомо, поза рамками марківського наближення, з рівняння (1) вдається отримати лише ланцюжок пов'язаних рівнянь для статистичних моментів поля $U(\bar{r})$, в рівняння для нижчих моментів обов'язково входять моменти більш високих порядків. Складність вирішення цього ланцюжка рівнянь пов'язана з труднощами обчислення КІ загального вигляду.

Зазвичай для розчеплення ланцюжка і отримання замкнутих рівнянь для моментів даного по-

рядку приймаються певні статистичні гіпотези про рішення.

При формулюванні завдання в термінах КІ такі статистичні гіпотези проявляються як деякі наближення для подінтегрального виразу, що дозволяє простежити за характером наближень і визначити межі їх застосовності.

Висновки

У статті наведено результати аналізу можливості удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації з використанням методу континуальних інтегралів Феймана за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

Для цього було вирішено ряд приватних завдань в результаті чого отримані такі наукові результати.

1. Отримані рівняння кореляційних функцій оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи.

2. Отримані рівняння кореляційних функцій довільного порядку оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи

3. Отримані рівняння просторових кореляційних функцій оптичного сигналу у каналах комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи

4. Наведено результати деяких стандартних випадків стохастичного сигналу та його статистичних характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучук Г. А. Рубан І. В., Давікоза О. П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
2. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M., Yeremenko, O. (2019), "Model of data traffic QoS fast rerouting in infocommunication networks", Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 3 (9), P. 127–134. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.9.127>.
3. Zykov, I., Kuchuk, N., Shmatkov, S. (2018), "Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning", Advanced Information Systems, Vol. 2, No. 3, P. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
4. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaev, M., Lohvynenco, M. (2017), "Multiservice network security metric", IEEE Advanced information and communication technologies-2017, Proc. of the 2th Int. Conf. Lviv, 2017, P. 133–136.
5. Kliuiev, O., Mozhaev, M., Uhrovetskiy, O., Mozhaev, O., Simakova-Yefremian, E. (2019), "Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy", 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019 – Proceedings.
6. Mozhaev, M., Kuchuk, N., Usatenko M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 4 (10), P. 134-140. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
7. Rudnytsky, V., Mozhaev, M. and Kuchuk, N. (2020) "Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system", Innovative technologies and scientific solutions for industries, (1 (11), P. 172-180. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.11.172>.
8. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
9. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НІУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
10. Amin Salih Mohammed, Saravana Balaji B., Saleem Basha M S, Asha P N and Venkatachalam K (2020), FCO — Fuzzy constraints applied Cluster Optimization technique for Wireless AdHoc Networks, Computer Communications, Volume 154, Pages 501-508, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.079>.
11. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Mohammed, A. S., Manikandan, V., Porkodi, V., & Yuvaraj, N. (2019). Improved Enhanced Dbtma with Contention-Aware Admission Control to Improve the Network Performance in Manets. CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA, 60(2), pp. 435-454, DOI: <https://doi.org/10.32604/cmc.2019.06295>
12. Porkodi V., Sivaram M., Mohammed A.S., Manikandan V. Survey on White-Box Attacks and Solutions. Asian Journal of Computer Science and Technology. Vol. 7, Is. 3. pp. 28–32.

13. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
14. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
15. Manikandan, V, Porkodi, V, Mohammed, A.S and Sivaram M. (2018), “Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering”, *ICTACT Journal on Soft Computing*, Vol. 9, Issue 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: 10.21917/ijsc.2018.0252
16. Mohammed, A. S., Meleshko, Y., & Serhii, S. (2019, December). Collaborative Filtering Method with the use of Production Rules, *2019 International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy (ICCIKE)*, pp. 387-391, IEEE, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCIKE47802.2019.9004257>
17. Selvaraj, J., & Mohammed, A. S. (2020), Mutation-based PSO techniques for optimal location and parameter settings of STATCOM under generator contingency, *International Journal of Intelligence and Sustainable Computing*, 1(1), 53-68, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJISC.2020.104827>
18. Можаяв М.О. Математична модель оптичних каналів передачі інформації Телекомунікаційні та інформаційні технології. – Київ: ДУТ, 2020. – № 1. – С. 95 – 99.
19. Feynman, R. P. *Quantum mechanics and path integrals* / R. P. Feynman, A. R. Hibbs. – McGraw-Hill, New York, 1965. – 377 p
20. Roepstor G. *Path Integral Approach to Quantum Physics*, Springer, Heidelberg, 1996. – 220 p.
21. Chaichian M., Demichev A. *Path Integrals in Physics. Vol. 1.* – IOP Publishing, London, 2001. – 352 p.
22. Kleinert H. *Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistics, Polymer Physics, and Financial Markets*, – World Scientific Publishing Co., Singapore, 2004. – 1300 p.
23. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations I: the general construction // *Ann. Phys.* – 2004. – 314. – P. 362 – 395.
24. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations II: elliptic, parabolic, and hyperbolic cases // *Ann. Phys.* – 2004. – 314. – P. 396 – 424.
25. Егоров, А. Д. Введение в теорию и приложения функционального интегрирования / А. Д. Егоров, Е. П. Жидков, Ю. Ю. Лобанов. – М.: Физматлит, 2006. – 400 с.
26. Horacio, S. Wio. *Application of path integration to stochastic process: an introduction* / S. Wio. Horacio. – World Scientific Publishing Company, 2013. – 176 p.
27. Constantinou J. Path-integral analysis of tapered, graded-index waveguides // *J. Opt. Soc. Amer. A.* – Aug. 1991. – V. 8. – P. 1240 – 1244.
28. Nevels R.D. Miller J.A. Miller R.E. A path integral time-domain method for electromagnetic scattering // *IEEE Trans. Antennas Propagat.* – Apr. 2000. – V. 48. – P. 565 – 573.
29. Yeh K.C., Lin K.H., Wang Y. Effect of irregular terrain on waves – a stochastic approach // *IEEE Trans. Antennas Propagat.* – Feb. 2001. – V. 49. – P. 250 – 259.
30. Levy M. *Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation.* - London: IEE, 2000. – 348 p.

Received (Надійшла) 18.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.01.2021

Improvement of mathematical model of optical channels transmission of information

M. Mozhayev

Abstract. The object of research is the methods of building a mathematical model of optical information transmission channels in the information system of forensic examination, the subject of research - optical information transmission channels. The results of the analysis of information transfer in the information system of forensic examination are given, which established that when using optical communication channels the biggest problems arise due to the heterogeneity of the distribution environment. Therefore, the task of monitoring the state of information exchange in computer networks of the information system is extremely important. The solution of this complex and multifaceted problem in the article is based on previous studies, which were performed using the formalism of continuum integrals (CI) Feiman, field theory, mathematical statistics and probability theory, nonlinear optics, systems theory. These methods were integrated into the general method, which allowed to improve the mathematical model of optical information transmission channels. Using the analytical relations obtained in the previous article, the equations of correlation functions, including arbitrary order, were formulated. This became possible using Feymann continuous integrals. The analysis of the obtained equations for some partial conditions is given in the article. The article finds that the use of CI allows you to simply write as solutions of equations of any order (although usually writing solutions in the form of CI is a transfer of difficulties from one area - solving equations in private derivatives to another, because accurately calculated CI only special type - Gaussian), and expressions for such quantities that cannot be described by closed equations, while avoiding the introduction of redundant parameters. The complexity and difficulty of solving equations for moments increases with increasing order: if the equations even for the spatial coherence functions of the first and second orders are solved in general, the analytical solution of the equation for higher moments can no longer be obtained. Usually, to uncouple the chain and obtain closed equations for moments of this order, certain statistical hypotheses about the solution are adopted. When formulating a problem in CI terminals, such statistical hypotheses appear as some approximations for subintegral expression, which allows us to trace the nature of approximations and determine the limits of their applicability. Thus, there is a theoretical possibility of improving the mathematical model of optical information transmission channels based on the use of CI formalism to obtain the equation of correlation functions.

Keywords: telecommunication network, forensic information information system, optical communication channel, mathematical model, continuous integral, parabolic wave equation

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Азаренков В. І.	71	Карлов В. Д.	146	Носков В. І.	58
Андрєєв С. М.	4	Кацман М. Д.	134	Оленченко В. Т.	142
Аркушенко П. Л.	31	Кашперський В. Є.	123	Олещук М. М.	146
Багіров С.	62	Кислиця С. Г.	62	Онипченко П. М.	45
Белоусов В. В.	146	Кічата Н. М.	138	Павлова Д. Б.	23
Борщ В. В.	31	Клочко Л. А.	84	Панова О. В.	123
Брук Я. І.	123	Коваленко А. А.	90	Пашкевич С. М.	67
Бутко І. М.	17	Коваленко А. П.	67	Петрушенко В. М.	146
Васюта К. С.	74	Коваль В. В.	130	Підгорний М. В.	100
Вервейко О.І.	31	Ковальчук Д. М.	96	Поворознюк А. І.	103
Веретюк С. М.	100	Кожушко Г. М.	62	Поворознюк О. А.	103
Власов К. В.	45	Костенко І. Л.	45	Поночовний Ю. Л.	107
Волочій Б. Ю.	36	Кошман С. О.	96	Руденко О. А.	107
Гавриленко С. Ю.	58	Краснобаєв В. А.	96	Сальник Ю. П.	36
Гармаш Н. В.	74	Кузнецов О. Л.	146	Сєдаш С. П.	27
Гейко Г. В.	58	Кучук Г. А.	90	Скакаліна О. В.	111
Глива В. А.	123	Лазарев В. Д.	142	Солопихін Н.	81
Головко Г.	81	Лапін П. В.	134	Ткачов В. М.	90
Денисенко О. В.	67	Левіщенко Є. В.	130	Тузіков С. А.	146
Деркач Т. М.	84	Лещинська І. О.	115	Федоріщева В. О.	71
Дичко С. О.	126	Лещинський В. О.	115	Флорін О. П.	31
Дмитренко А. А.	84	Лєві Л. І.	49	Халмурадов Б. Д.	138
Дмитренко Т. А.	84	Майборода І. М.	142	Чалий С. Ф.	115
Жилін В. А.	4	Матяшенко А.	81	Чопенко Д. А.	74
Заволодько Г. Е.	23	Мезенцев М. В.	58	Шефер О. В.	107
Звєздін В.М.	120	Мікосянчик О. О.	138	Шехна Х.	103
Зима О. Є.	49	Можаєв М.О.	153	Шпак С. В.	62
Змисний М. М.	36	Мошаренков В. В.	54	<u>Якубенко В. М.</u>	36
Іохов О. Ю.	142	Набільська А. І.	138	Янко А.С.	120
Казіміров О. О.	45	Назаренко В. І.	126		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (63)

Відповідальна за випуск *К. С. Нестеренко*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*Оформлення обкладинки *І. В. Льїна*

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

Підписано до друку 26.02.2021. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 19,75. Тираж 120 прим. Зам. 226-21

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.

Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: bookfabrik@mail.ua