

# Наукоємні технології

№ 4 (32) 2016

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у квітні 2009 р.

## Science-Based Technologies

УДК 001:629.7(051)

### ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

**О. К. Юдін** — директор ІКІТ,  
лауреат Державної премії України,  
член-кореспондент Академії зв'язку  
України, доктор технічних наук,  
професор

### ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

**С. М. Лобода** — доктор  
педагогічних наук, професор

### ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

**Р. В. Зюбіна** — асистент

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

(Україна)

**В. В. Бараннік**, д-р тех. наук, проф.  
**С. В. Бойченко**, д-р тех. наук, проф.  
**Ю. В. Білокопитов**, д-р хім. наук, проф.  
**А. М. Грехов**, д-р фіз.-мат. наук, проф.  
**О. І. Запорожець**, д-р тех. наук, проф.  
**Ю. К. Зітдінов**, д-р тех. наук, проф.  
**Г. Ф. Коначович**, д-р тех. наук, проф.  
**О. Є. Литвиненко**, д-р тех. наук, проф.  
**І. О. Мачалін**, д-р тех. наук, проф.  
**О. М. Новіков**, д-р тех. наук, проф.  
**О. Г. Оксюк**, д-р тех. наук, проф.  
**В. М. Опанасенко**, д-р тех. наук, ст. наук.  
співроб.  
**О. В. Палагін**, д-р тех. наук, проф., Україна  
**О. А. Тамаргазін**, д-р тех. наук, проф.  
**А. А. Тушій**, д-р тех. наук, проф.  
**В. П. Харченко**, д-р тех. наук, проф.  
**В. І. Хаханов**, д-р тех. наук, проф.  
**В. І. Чепіженко**, д-р тех. наук, проф.  
**Г. М. Юн**, д-р тех. наук, проф.  
**Ф. Й. Яновський**, д-р тех. наук, проф.

### ЗМІСТ

#### ТЕХНІЧНІ НАУКИ

##### Інформаційно-комунікаційні системи

- Дубчак О. В., Петраш І. Б.**  
Вибір протоколу для побудови мережі IP-телефонії..... 365
- Одарченко Р. С., Абакумова А. О.**  
Метод балансування навантаження в опорній мережі  
стільникового оператора .....369
- Шматок С. О., Петренко А. Б., Шматок О. С.**  
Розрізнення сигналів у нелінійних детермінованих  
стежних системах.....376
- Артамонов Є. Б.**  
Порівняльний аналіз підходів до визначення  
зацікавленості користувача навчальними  
матеріалами в адаптивних навчальних системах..... 383

##### Інформаційна безпека

- Юдін О. К., Симониченко Я. А.**  
Виявлення прихованих каналів передачі інформації  
на базі методів стеганоаналізу .....389
- Юдін О. К., Бучик С. С., Зюбіна Р. В., Авраменко Ю. С.**  
Особливості адміністрування та менеджменту  
в публічному управлінні державними  
інформаційними ресурсами .....395

##### Системне управління

- Левикін В. М., Чала О. В.**  
Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу  
на основі аналізу його логу .....405
- Чалий С. С., Левикін І. В.**  
Метод адаптивного процесного управління  
на основі прецедентного підходу .....410

*А. Смерлас*, д-р тех. наук, Німеччина  
*А. Воїцина*, д-р тех. наук, Польща  
*В. Кук*, д-р тех. наук, проф., Естонія  
*М. П. Карпінський*, д-р тех. наук, проф., Польща  
*Л. Еріксон*, д-р тех. наук, проф., США  
*М. Станушек*, д-р тех. наук, проф., Польща  
*О. С. Петров*, д-р тех. наук, проф., Польща  
*П. Ексель*, д-р тех. наук, проф., Велика Британія  
*П. Бейтс*, д-р тех. наук, проф., Австралія  
*С. Е. Лішевський*, д-р тех. наук, проф., США

**ВІСНИК**

**НАУКОЄМНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ**  
№ 4 (32), 2016

Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації  
КВ № 13793-2767Р від 05.03.2008

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного авіаційного університету  
(протокол № 11 від 21.12.2016)  
Постановою Вищої атестаційної  
Комісії України науковий журнал  
«Наукоємні технології»  
включено до переліку наукових  
видань, публікації яких зараховуються  
до результатів дисертаційних робіт з  
технічних наук.

(Наказ Міністерства освіти і науки  
України від 21.12.2015 р. № 1328)

**Адреса редакційної колегії:**

03680, Київ-58, просп. Космонавта  
Комарова, 1, тел. 406-70-08

Комп'ютерна верстка — Л. Т. Колодіної

Дизайн обкладинки — К. С. Лебеденко

**Екологія**

- Бойченко С. В., Шаманський С. Й., Ільченко А. Я.**  
Техніко-економічне порівняння методів попередньої  
обробки осадів стічних вод перед  
анаеробним зброджуванням .....415
- Бойченко С. В., Ланецький В. Г., Черняк Л. М.,  
Радомська М. М., Кондакова О. Г.**  
Компаундування бензину А-92 з етиловим спиртом  
кавітаційним методом.....420
- Зацерковний В. І., Оберемок Н. В., Бондарь Ю. С.  
Шерстюк І. В.**  
Оптимізація геоінфармаційних систем для задач  
моніторингу акустичного забруднення.....425

**Експлуатація повітряного транспорту**

- Захарченко В. П., Ільченко С. С.,  
Курганський О. Ю., Мухін В. В.**  
Побудова, експлуатація та технічне  
обслуговування централізованих бортових систем  
діагностики і вбудованих систем контролю авіоніки с  
учасних повітряних суден .....434

**Фізика**

- А. О. Борисюк, Я. А. Борисюк**  
Визначення витратних характеристик течії  
в трубі зі звитостю.....441
- Резюме.....447**
- Вимоги до статті.....455**

Підп. до друку 19.12.2016. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 10,81. Обл.-вид.  
арк.11,89.

Тираж 100 пр. Замовлення № 485 -1.

Видавець і виготівник Національний авіаційний університет  
03680. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07. 2002  
© Національний авіаційний університет, 2016

## ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

УДК 004.057.4:004.056.5:621.395(045)

### ВИБІР ПРОТОКОЛУ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

О. В. Дубчак, І. Б. Петраш

Національний авіаційний університет

Dubchak.E.V@gmail.com

*Розглянуто сучасний стан розвитку ІР-телефонії. Проведено порівняльний аналіз основних характеристик найбільш популярних протоколів SIP та H.323. Визначено їх переваги та недоліки. Зазначено, що протокол SIP більш відповідає завданням побудови інтегрованих та змішаних мереж. Встановлено можливість використання протоколів одночасно залежно від вирішуваних завдань.*

**Ключові слова:** ІР-телефонія; VoIP-протокол; SIP; H.323; з'єднання; масштабування; мультимедійні дані.

*Current state of IP-telephony was examined. A comparative analysis about basic characteristics of the most popular SIP and H.323 protocols was conducted. Advantages and disadvantages of these protocols were determined. It was stated that SIP protocol corresponds more to tasks of making integrated and mixed networks. It was established the possibility of using protocols depending on the tasks simultaneously.*

**Keywords:** IP-telephony; VoIP-protocol; SIP; H.323; connection; scaling; multimedia.

#### Вступ

Сучасна система зв'язку ІР-телефонія або VoIP (Voice over IP), завдяки відносній простоті встаткування каналів зв'язку й ефективного їх використання, нижчому рівню експлуатаційних витрат і вартості послуг, а також невисоким вимогам щодо смуги пропускання, на сьогодні є однією з найбільш прогресивних технологій передачі голосової інформації. В ІР-телефонії, що передбачає оцифрування голосу абонента і надсилання отриманих даних окремими пакетами мережею Інтернет, враховуються положення стандарту ISO 9000 щодо якості встановлення з'єднання та власне якості са-мого з'єднання. Показником першого є швидкість встановлення з'єднання, а другого — затримки та якість мови, що сприймається користувачем [1].

#### Постановка проблеми

За прогнозами Infonetics Research, ринок глобальних VoIP-послуг у 2017 р. має зрости до \$82.7 млн. До мереж фіксованого та мобільного зв'язку, заснованим на використанні ІР-телефонії, висуваються високі вимоги як у частині масштабування, так і частині інтелектуальної обробки викликів. Окремим питанням є забезпечення якості передавання голосових даних, що впливає на їх доступність та цілісність і пов'язано зі швидкістю передавання інформаційних пакетів [2]. Важливу роль при побудові мереж ІР-телефонії

відіграє визначення протоколу, який має забезпечити реєстрацію ІР-пристрою (шлюз, термінал, ІР-телефон) на сервері провайдера, виклик, встановлення голосового з'єднання, що є одним з ключових моментів [3]. Оцінюванню характеристик VoIP-протоколів присвячено досить широке коло робіт, серед яких праці [4–7]. Але, зважаючи на стрімкий розвиток ІР-телефонії та модифікування протоколів, визначення ефективнішого серед існуючих способів забезпечення передавання голосових повідомлень є актуальним.

**Мета** — проведення порівняльного аналізу щодо переваг та недоліки VoIP-протоколів при побудові мереж ІР-телефонії за вимогами різних сегментів ринку. На сьогодні, серед понад десятка існуючих, широке застосування знайшли два VoIP-протоколи — SIP та H.323. Протокол ініціювання сеансів SIP (Session Initiation Protocol), який розпочав розроблятися в 1996 р., а у листопаді 2000 р. був затверджений як сигнальний протокол проекту 3GPP (3rd Generation Partnership Project) і постійний елемент архітектури мультимедійної підсистеми IMS (IP Multimedia Subsystem), є одним з протоколів, що становлять підґрунтя для VoIP [4].

SIP є протоколом прикладного рівня, його призначення полягає в організації, модифікації та завершенні сеансів зв'язку, таких як телефонні з'єднання, мультимедійні конференції, розподіл

мультимедійної інформації тощо. Протокол достатньо гнучкий, відносно просто забезпечує сумісність різних версій. SIP складається з набору закінчених компонентів (модулів), які можуть замінятися залежно від вимог і працювати незалежно один від одного. За умовчання сервер SIP не зберігає відомостей про поточні сеанси зв'язку і відповідно у змозі обробити більшу

кількість викликів, ніж гейткіпер H.323 (табл. 1). На кшталт протоколу HTTP SIP використовує текстовий формат повідомлень, що істотно полегшує синтаксичний аналіз і генерацію коду, дозволяє реалізувати протокол засобами будь-якої мови програмування, полегшує експлуатаційне керування, дає можливість ручного введення деяких полів, полегшує аналіз повідомлень [5].

Таблиця 1

Переваги та недоліки протоколу SIP

Переваги	Недоліки
Масштабованість (можливість збільшення кількості клієнтів при розширенні мережі)	Позбавлений будь-яких серйозних захисних функцій
Мобільність (можливість отримання сервісу незалежно від місцеположення (наприклад, електронна пошта), а кожному користувачеві видається персональний ідентифікатор, по якому він може бути знайдений)	Упровадження специфікації вимагає використання інших протоколів
Розширюваність (можливість доповнення протоколу новими функціями (за рахунок введення нових заголовків і повідомлень). Якщо пристрою зустрічається невідоме йому розширення протоколу, воно просто ігнорується)	

Хоча мережа IP-телефонії, побудована на базі протоколу SIP, передбачає використання великої кількості різноманітних сервісів, сам протокол безпосередньої участі в передачі голосових, відео- та інших даних не бере. Оскільки протокол відповідає тільки за встановлення зв'язку, під SIP-телефонією і розуміють саме встановлення зв'язку, його підтримку та завершення. Обслуговування цих функцій розподілено між різними елементами мережі SIP, серед яких основними є: клієнт SIP, проксі-сервер, сервер переадресування та сервер місцезнаходження (рис. 1). Підґрунтям протоколу H.323, який був прийнятий міжнародним союзом електрозв'язку ITU (International Telecommunication Union), є мультимедійні протоколи.

Головним призначенням H.323 є забезпечення сумісності компонентів, протоколів і процедур під час дво- та багатосторонньої передачі

відео- та звукових сигналів і даних мережами з пакетною комутацією в режимі реального часу. Протокол надає ряд можливостей керування послугами як у частині автентифікації й обліку, так і в частині контролю використання мережевих ресурсів, забезпечуючи встановлення з'єднання та виконання контрольних функцій.

Якість надання сервісу покладається на транспортний протокол RTP (Real time Transport Protocol) [6]. На розширення можливостей будь-якого IP-протоколу, як і на сумісність устаткування, що його реалізує, впливає й набір кодеків, що підтримується даним протоколом. У протоколі H.323 усі кодекси мають бути стандартизовані, що може призвести до проблем реалізації додатків з нестандартними алгоритмами кодування (табл. 2). Основними пристроями мережі на базі H.323 є термінал, шлюз, привратник та пристрій управління конференціями (рис. 2).

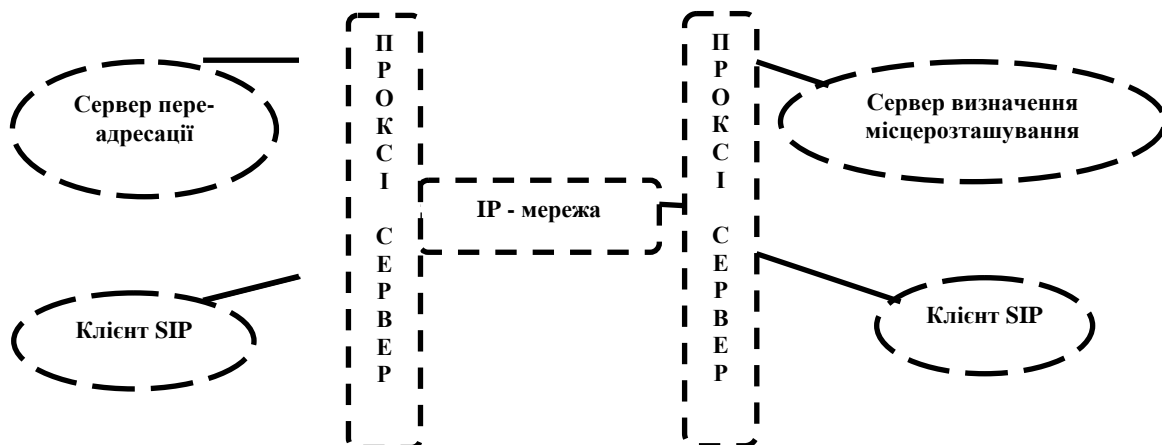


Рис. 1. Мережа IP-телефонії на базі протоколу SIP

Таблиця 2

**Переваги та недоліки стандарту H.323**

H.323	
Переваги	Недоліки
Забезпечує високоякісний конференц-зв'язок на базі мультимедіа. Мультимедійний конференц-зв'язок H.323 може підтримувати такі додатки, як колективне редагування растрових зображень, спільна робота з передачі даних або відеоконференція	Витрачає більше часу на установку з'єднання
Припускає можливість взаємодії обладнання на базі H.320 і H.323 від різних виробників	Вимагає близько 12 пакетів для встановлення з'єднання
З вигодою використовує наявні капіталовкладення в інфраструктуру корпоративної мережі	Вимагає і TCP, і UDP під час встановлення з'єднання
Може використовуватися для організації міжміських і міжнародних телефонних з'єднань для зниження їх вартості	Реалізація H.323 набагато складніше реалізації SIP. Для надання послуг H.323 вимагає сумісного використання компонентів різноманітних протоколів
Дозволяє більш ефективно використовувати технологію ISDN із застосуванням шлюзів H.320 і меншого числа ліній ISDN	У даний час у H.323 недоступно управління викликом третьої сторони
У корпоративній інтрамережі може забезпечувати більш надійні з'єднання і зменшувати проблеми підтримки	Пропонує декілька способів реалізації однієї і тієї самої функції
Не залежить від апаратного забезпечення і операційної системи	Пропонує більш складні можливості управління конференц-зв'язком в мережі

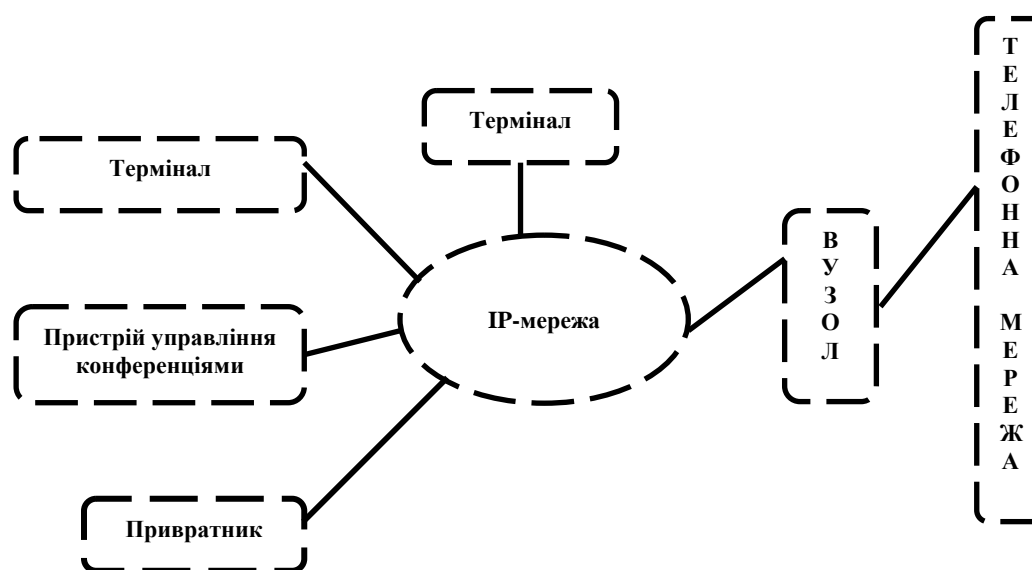


Рис. 2 Мережа IP-телефонії на базі протокола H.323

*Критеріальне порівняння протоколів SIP та H.323.* Не дивлячись на чималий вік технології IP-телефонії, а також її широке розповсюдження в корпоративному та державному секторах, її використання потребує постійного нарощування функціональних можливостей VoIP-протоколів.

Слід зазначити, що обидва протоколи є результатом вирішення одних і тих самих завдань

спеціалістами ІТУ-Т та комітету спеціальної комісії Інтернет-розробок IETF (Internet Engineering Task Force).

Рішення ІТУ-Т-протокол H.323-наближене до традиційних телефонних мереж, а рішення комітету IETF-протокол SIP базується на принципах, що складають основу мережі Інтернет (табл. 3).

Таблиця 3

## Порівняльний аналіз протоколів SIP та H.323

Критерій порівняння	Протокол SIP	Протокол H.323
Складність протоколу	Простий, мало запитів, текстовий формат	Складний, багато запитів і протоколів, двійкове представлення повідомлень
Розширюваність протоколу	Зручна розширюваність, проста сумісність з попередніми версіями	Розширюваність підтримується, але є ряд труднощів
Масштабність мережі	Забезпечує гарну масштабність мережі	Забезпечує гарну масштабність мережі
Час встановлення з'єднання	Достатньо однієї транзакції	Потребує декілька транзакцій
Персональна мобільність користувачів	Один із базових принципів закладених в протокол	Персональна мобільність підтримується, але менш гнучко
Завдання пріоритетів в обслуговуванні викликів	Можливо задавати пріоритети	Така можливість не передбачена
Стандартизація додаткових послуг	Правила надання додаткових послуг не визначені	Має стандарти по наданню додаткових послуг

Виходячи з наведених характеристик, слід зазначити, що набір послуг, які надаються обома протоколами, приблизно однаковий, з чого випливає можливість їх сумісного використання. Щодо протоколу SIP, то до основних його переваг можна віднести простоту організації, мобільність, розширюваність [6].

**Висновки та рекомендації**

На підставі проведеного порівняння можна зробити висновок, що протокол SIP більше відповідає завданням побудови інтегрованих та змішаних мереж. Зазвичай мережі таких типів організують існуючі Інтернет-провайдери, які надають послуги IP-телефонії як додатковий сервіс. Оснащуючи власну мережу додатковим обладнанням, вони забезпечують необхідною якістю передавання мовлених сигналів. Але відсутність штатних механізмів гарантування належного рівня інформаційної безпеки вимагає підвищеної уваги до забезпечення конфіденційності та цілісності голосових даних [7].

Слід зазначити, що вибір протокола має залежати від цілей бізнеса та від необхідних функціональних можливостей, оскільки на практиці вони можуть застосовуватися в різних галузях ринку зв'язку та навіть працювати паралельно один з одним.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Беллами Д. К. Цифровая телефония: пер. с англ. / Д. К. Беллами — М. : Эко-Трендз, 2004. — 640 с.
2. Василенко В. С. Аналіз протоколів розподілених мереж із використанням вирішального зворотного зв'язку / В. С. Василенко, О. В. Дубчак // Науково-практичний журнал «Захист інформації». — 2012. — №2(55). — С. 42–47.

3. Гольдштейн Б. С. IP-телефония / Б. С. Гольштейн, А. В. Пинчук, А. Л. Суховицкий. — М. : Радио связь, 2001. — 336 с.

4. Гольдштейн Б. С. Протокол SIP: справочник / Б. С. Гольштейн, А. А. Зарубин, В. В. Саморезов. — СПб. : БХВ-Петербург, 2014. — 456 с.

5. Дубчак О. В. Критеріальний аналіз VoIP-протоколів / О. В. Дубчак, І. В. Глушко // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІПРК-2011): IV Міжнародна наук.-прак. конф., 23–25 травня 2011 р.: тези доп. — Київ, 2011. — С. 408–410.

6. Муравин Д. Протоколи SIP и H.323. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://atsvtule.ru/content/siph323.pdf>

7. Дубчак О. В. Підвищення відмовостійкості корпоративної телефонної мережі на базі протоколу SIP / О. В. Дубчак, І. В. Глушко // Europejska nauka XXI powieka, 2012: VIII Miedzynarodowa nauk.-prak. конф., 07–15 травня 2012 р. : тези доп. — Пшемисль, 2012. — Т. 20. — С. 95–97.

**LITERATURE**

1. Bellamy John C. Digital Telephony. Kelowna, Canada: Praxis e-Press, 2004. — 640 p.
2. Vasilenko V. S., Dubchak E. V. Naukovo-praktichnij zhurnal «Zahist informacii» (2012). P. 42–47 p.
3. Gol'shtejn B., Pinchuk A., Suhovickij A. IP-telephony. BHV-Peterburg, 2001. — 336 p.
4. Gol'shtejn B., Zarubin V., Samorezov V. SIP protocol. BHV-Peterburg, 2014. — 456 p.
5. Dubchak E. V., Glushko I. V. IV Krierial nianaliz VoIP-rotokoliv. Integro vaniintelektual'ni robototekhnichni kompleksi, 2011. — P. 408–410.
6. Muravin D. Protokoly SIP i N.323. Available at: <http://atsvtule.ru/content/siph323.pdf>.
7. Dubchak E. V., Glushko I. V. IV Europejska nauka XXI powieka, 2011. — P. 95–97.

Стаття надійшла до редакції 09.11.2016

УДК 621.29 (045)

## МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ОПОРНІЙ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА

*Р. С. Одарченко*, канд.техн. наук, доц.; *А. О. Абакумова*, асп.

Національний авіаційний університет  
odarchenko.r.s@mail.ru

*У статті проаналізовано алгоритми резервування ресурсів та методи перерозподілу потоків трафіку опорної мережі стільникового оператора зв'язку. До розгляду було взято модель мережевого трафіку на основі систем масового обслуговування М/М/1-модель. За допомогою цієї моделі було досліджено завантаженість мережі, а також розроблено метод балансування навантаження в транспортній мережі LTE, який дозволить досягнути більш збалансованого розподілу трафіку по всій мережі і відповідно більш високих показників продуктивності.*

**Ключові слова:** алгоритм резервування, потік трафіку, балансування навантаження, транспортна мережа, LTE.

*The paper analyzes resource reservation algorithms and methods of traffic flows redistribution in the backbone mobile operator network. Network traffic model was taken for consideration based on queuing system M/M/1-model. By using this model network load was investigated, and method of load balancing was developed in LTE transport network, that allows to achieve more balanced traffic distribution across the network and therefore higher performance.*

**Keywords:** reservation algorithm, traffic flows, load balancing, transport network, LTE.

### Вступ

Зростання інформатизації суспільства підвищує вимоги до надійності та продуктивності передачі даних в інформаційних телекомунікаційних мережах. Відповідно, із збільшенням кількості користувачів у мережі збільшується обсяг інформації, що передається. Це призводить до загострення проблеми пікових навантажень. У зв'язку з цим актуальним є аналіз існуючих моделей та моделювання мережевого трафіку з метою забезпечення високої якості передачі в інформаційних телекомунікаційних мережах.

### Аналіз досліджень та публікацій

Даній тематиці присвячено досить багато робіт вітчизняних [1; 2] та зарубіжних учених [3; 4].

Слід відмітити праці [5; 6], у яких досліджувалися алгоритми резервування мережевих ресурсів та перерозподілу потоків трафіку.

Проте в публікаціях присвячених обраній темі не приділено достатньо уваги розробці методу розподілу трафіку по всім мережевим портам з урахуванням балансування навантаження за умови різної вартості маршрутів.

### Постановка мети та задач дослідження

Метою даної роботи є розробка методу балансування навантаження в опорній мережі стільникового оператора, який дозволить підвищити інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну спроможність мережі в цілому. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– аналіз методів побудови та функціонування опорної мережі;

– аналіз алгоритмів резервування мережевих ресурсів;

– побудова системи масового обслуговування як прототипу системи для розвантаження мережі;

– розробка методу балансування навантаження в мережі.

– моделювання процесу розвантаження мережі.

### Виклад основного матеріалу дослідження

#### Опорна мережа стільникового оператора

Мережі стільникового зв'язку повинні пропускати трафік у прогнозованих обсягах і своєчасно задовольняти зростаючий споживчий попит на високошвидкісну передачу даних.

Українську важливу роль в досягненні цієї мети відіграє вибір ефективної технології [7]. Система стільникового зв'язку LTE була розроблена, для того щоб забезпечити високу пропускну спроможність і сервіс високої швидкості передачі даних для стільникових мультимедіа [8].

На відміну від більшості мереж попереднього покоління, у яких спостерігається досить висока різноманітність і ієрархічність мережевих вузлів, архітектуру мереж LTE можна назвати «плоскою», за якою базові станції (eNodeB) безпосередньо підключені до вдосконаленої пакетної опорної мережі (EPC) [9]. З боку користувача з'єднання встановлюється з обслуговуючим шлюзом (SGW), з керуючої сторони — з системою підтримки мобільності (MME, Mobility Management Entity).

Для належної підтримки нових широкосмугових технологій радіодоступу в транс-портних мережах має бути підвищена ефективність передачі інформації при зниженні вартості доставки кожного мегабайта трафіку та забезпеченні якості обслуговування (QoS), необхідного кожному типу трафіку. Класична транспортна мережа оператора стільникового зв'язку складається з двох основних сегментів [10]:

- розподільної мережі (backhaul), що зв'язує базові станції з контролерами і центрами комутації рухомого зв'язку (Mobile Switching Center, MSC);
- магістральної мережі (backbone), що забезпечує високошвидкісний транспорт між центрами комутації.

До основних критеріїв для оцінки транспортної мережі можливо віднести [11]:

- пропускна здатність каналу зв'язку;
- максимальна довжина транспортної ділянки;
- час відновлення зв'язку;
- можливість управління навантаженням;
- підтримка;
- доступність обладнання;
- доступність фахівців;
- сумісність обладнання різних виробників.

Аналізуючи критерії, наведені вище, необхідно проводити пошук нових архітектурних рішень та підходів, що дозволять підвищити ефективність використання транспортних сегментів стільникових мереж.

У контексті цього доцільно розглянути мережі SDN. Програмно-конфігуровані мережі можуть докорінно змінити оптичні транспортні мережі. SDN дозволить застосовувати централізований контроль над мережею, забезпечить її програмованість та автоматизацію надання різних сервісів для різних QoS.

Тому, розуміючи це, організація ONF (Open Network Foundation) проводить розробку OTS (open transport switches), які працюють як посередники між контролером та оптичним комутатором. OTS взаємодіє з контролером через протокол OpenFlow, а для взаємодії з оптичним комутатором використовується специфічний командний синтаксис для конкретного комутатора. OTS нададуть змогу операторам стільникового зв'язку або великим сервіс-провайдерам розробляти та застосовувати поряд в своїх мережах нові більш досконалі алгоритми резервування мережеских ресурсів та перерозподілу потоків трафіку (балансування навантаження), що в результаті надасть змогу підвищити якість обслуговування абонентів. Тому спершу проаналізуємо сучасні

алгоритми, що широко застосовуються, потім модель обслуговування та проведемо моделювання балансування навантаження в мережі.

#### *An Integrated Solution*

Резервування відповідних мережеских ресурсів для встановлення віртуального з'єднання між парами джерело-адресат, досягається за допомогою протоколу сигналізації MPLS, що створює шлях для ресурсів по оптичним волокнам в DWDM мережі. Є дві мети використання схеми резервування ресурсів мережі:

- гарантування успішно доставлених ресурсів;
- налаштування оптичного перемикача паралельно з резервуванням ресурсів.

Подібність між резервуванням лямбда та лектронних протоколів MPLS сигналізації є те, що вони можуть виконувати мітки заміни шляхом введення лямбда перетворення в кожному O-LSR. Однак, структура резервування лямбда не може змінювати мітку укладання і злиття в ядрі DWDM мережі. Як результат даного обмеження, ця схема розроблена так, щоб дозволити резервування ресурсів тільки з лямбда-компонентом. Інакше кажучи, використовується один повний компонент лямбда на кожній ланці з комп'ютерного шляху між парою джерело – призначення.

#### *Routing and Wavelength Assignment Algorithm*

Для простоти, протокол резервування на основі паралельного резервування був реалізований для того, щоб перевірити різні схеми призначення маршрутизації і довжини хвилі, що були задіяні. Генератор посилає повідомлення «запит» для нового підключення до іншого випадково обраного вузла. У разі якщо GMPLS маршрутизатор отримує повідомлення «запит», обчислює явний маршрут до запитуваного пункту призначення і призначає довжину хвилі для зв'язку, а потім оцінює загальну залишкову дисперсію і PMD — звідси розширення часу. Якщо обидва маршрути, і довжина хвилі доступні, GMPLS маршрутизатор здійснює резервування в паралельному маршруті. Він посилає в паралельному повідомленні «резерв» у кожен вузол явного маршруту, але за винятком себе. Коли вузол отримує повідомлення «резерв», він перевіряє, чи надає запит на хвилі його попередник в явному маршруті. Потім він посилає «відповідь» повідомлення назад, щоб джерело визначило успіх попереднього замовлення. Якщо запитувана хвиля не доступна в одному або декількох вузлах на явному маршруті, джерело посилає повідомлення зняття запиту для всіх вузлів, які мають уже зарезервовані довжини хвилі від явного шляху.



### *MBR: A Markov-based Reservation Algorithm for Wavelength*

Джерело вузла застосовує найкоротший шлях алгоритму маршрутизації і використовує зворотній протокол резервування для створення з'єднання. Вузол джерела даних посилає повідомлення «PROB» до вузла призначення. Отримав повідомлення «PROB», проміжний вузол буде оновлювати `wave_map`-поле — маркуванням зайнятих довжин хвиль на `input` волокон її позначати `output` волокна як «зайняті». Після прийому повідомлення «PROB», вузол призначення вибирає вільні довжини хвилі (First-Fit, Random, т. д.) на основі інформації в області `wave_map`, і надсилає повідомлення «ResV» вгору по шляху призначення. Всі вузли уздовж шляху блокуватимуть хвилі, зазначені у повідомленні «RESV» повідомленні.

### *Assignment in All-optical Networks*

Коли «PROB» повідомлення запиту на з'єднання (A->E) надходить на проміжний вузол (C), перший вузол оновлює поле `wave_map` в повідомленні, відбувається маркування зайнятих довжин хвиль на вході і виході послань, такими позначками як «зайнято». Коли запит на інше з'єднання надходить в вузол C, також потрібно обчислити ці ймовірності. Розрахунок повинен бути витриманий на можливе призначення довжини хвилі на основі інформації про більш ранній запит на з'єднання. Щоб обчислення було більш простішим, використовується евристичний метод. Після обчислення ймовірності того, що з'єднання буде використовувати різні довжини хвиль, ми викликаємо функцію `wheel_of_fortune`. Вузол C потім зберігає запис про запит у поточній таблиці параметри поля `wheel_game` в результаті функції `wheel_of_fortune`. повідомлення «PROB» вирушає до вузлів, що знаходяться нижче в алгоритмі резервування. Якщо приходить запит на вузол C і знаходить запити втручання в поточній таблиці, він буде викликати функцію `solve_interference`.

### *Advance reservation-based co-allocation algorithm*

Алгоритм виконується при кожному прибутті запиту бронювання. Етапи планування резервування ресурсів іспільного розподілу в GRC (global resource coordinator) полягають у такому:

- GRC отримує `co-allocation` запит на співпрацю від користувача;
- GRC Planner створює кілька планів на бронювання запитом.

Планувальник вибирає  $N$  laddered терміни від [EST, LST + D]. (Визначається Earliest Start Time (EST) — найшвидший час початку, Latest Start

Time (LST) — найпізніший час початку, і тривалість (D), у якому користувач хоче забронювати часовий інтервал довгими  $D$  підрозділами, що розпочнуться після EST і до LST, тобто, це робота перед LST + D.) Планувальник отримує результати доступних інформаційних ресурсів на  $N$  часових рамок від RMS. Використовуючи цю наявну інформацію ресурсів, планувальник визначає  $N$  ( $0 \leq N$ ) плани бронювання, засновані на методі спільного розподілу. Планувальник сортує  $N$  плани в довільному порядку, який залежить від `co-allocation` опції в питаннях користувача і адміністратора. Відповідно до планів бронювання, створених Planner, GRC намагається `co-allocate` обрані ресурси у співпраці з другорядними RMS (resource managers), що управляють локальними інформаційними ресурсами певної території.

GRC повертає результати спільного розподілу, чи вдалося ресурсна процедура `co-allocation` чи ні, для користувача. Якщо це не вдалося, користувач повторно подати заявку з оновленими потребами для ресурсів. Розглянуті алгоритми мають свої переваги та недоліки у використанні. Вимоги кожного сервіса до передачі даних у мережі відрізняються, тому доцільно використовувати для кожного сервісу свій алгоритм резервування ресурсів мережі.

### **Система масового обслуговування**

Дослідження складних систем передбачає побудову абстрактних математичних моделей, представлених мовою математичних відношень у термінах певної математичної теорії, що дозволяє одержати функціональні залежності характеристик досліджуваної системи від параметрів. При цьому багато моделей реальних систем будуються на основі моделей масового обслуговування (ММО), які діляться на базові моделі у вигляді систем масового обслуговування і мережеві моделі у вигляді мереж масового обслуговування.

У роботі система масового обслуговування розглядається як прототип системи для розвантаження опорної мережі стільникового оператора.

Система масового обслуговування — математичний (абстрактний) об'єкт, що містить один або декілька засобів (каналів), що обслуговують заявки, які надходять до накопичувача, у якому знаходяться заявки, що створюють чергу і очікують обслуговування. Сукупність заявок, розподілених у часі, створюють потік заявок. Кількість місць для очікування в накопичувачі визначає ємність накопичувача.

Сукупність подій розподілених у часі називається *поток*. Для описання потоку заявок, у

загальному випадку, необхідно задати інтервали часу  $\tau_k = t_k - t_{k-1}$  між сусідніми моментами  $t_{k-1}$  і  $t_k$  надходження заявок з порядковими номерами  $(k-1)$  і  $k$  відповідно ( $k = 1, 2, \dots$ ;  $t_0 = 0$  — початковий момент часу).

Основною характеристикою потоку заявок є його інтенсивність  $\lambda$  — середнє число заявок, що проходять через деяку межу за одиницю часу. Величина  $\alpha = 1/\lambda$  визначає середній інтервал часу між двома послідовними заявками.

Потік, у якому інтервали часу  $\tau_k$  між сусідніми заявками приймають певні наперед відомі значення, називаються *детермінованим*.

Якщо при цьому інтервали однакові ( $\tau_k = \tau$  для всіх  $k = 1, 2, \dots$ ), то потік називається *регулярним*.

Для повного опису регулярного потоку заявок досить задати інтенсивність потоку  $\lambda$  або значення інтервалу  $\tau = 1/\lambda$ . Потік, у якому інтервали часу  $\tau_k$  між сусідніми заявками являють собою випадкові величини, називається *випадковим*. Для повного опису випадкового потоку заявок необхідно задати закони розподілу  $A_k(\tau_k)$  усіх інтервалів ( $\tau_k$   $k = 1, 2, \dots$ ).

Інтервали часу  $\tau$  між заявками в найпростішому потоці розподілені за експоненціальним законом з функцією розподілу  $A(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$ , де  $\lambda > 0$  — параметр розподілу, що являє собою інтенсивність потоку заявок.

Найпростіший потік часто називають пуассонівським, оскільки число заявок  $k$ , що надходять за певний заданий проміжок часу  $t$ , розподілено за законом Пуассона:

$$P(k, t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t},$$

де  $P(k, t)$  — імовірність надходження дорівнює  $k$  заявок за деякий фіксований інтервал часу  $t$ .

Тут  $k$  — дискретна випадкова величина, що приймає цілочислові значення:  $k = 1, 2, \dots$ , а  $t$  і  $\lambda > 0$  — параметри закону Пуассона.

Тривалість обслуговування — час знаходження заявки в приладі — у загальному випадку величина випадкова і описується функцією  $B(\tau)$  або щільністю  $b(\tau) = B(\tau)$  розподілу. У випадку неоднорідності навантаження тривалості обслуговування заявок різних класів можуть відрізнятися законами розподілу або тільки середніми значеннями.

Часто тривалість обслуговування заявок припускається розподіленою за експоненціальним законом, що суттєво спрощує аналітичні виклад-

ки. Це зумовлено тим, що процеси, які протікають у системах з експоненціальним розподіленням інтервалів часу, є марковськими.

Величина, зворотна середній тривалості обслуговування  $b$ , характеризує середнє число заявок, які можуть бути обслуговувані за одиницю часу, і називається інтенсивністю обслуговування:  $\mu = 1/b$ . Для визначення середніх значень характеристик обслуговування часто досить задати, крім математичного очікування  $b$ , другий момент розподілу (дисперсія) або коефіцієнт варіації  $v_b$  тривалості обслуговування.

Час  $T_0$ , що залишився до завершення обслуговування заявки, яка знаходиться в приладі, від моменту надходження деякої заявки в систему, і враховуючи, що на момент надходження в системі може і не виявитися заявок, тобто враховуючи просту систему, називається часом до обслуговування.

Математичне очікування даного часу:

$$M(T_0) = \frac{\lambda b^2 (1 + v_b^2)}{2},$$

де  $\lambda$  — інтенсивність найпростішого потоку заявок, що надходять в систему.

Для математичного описання дисципліни обслуговування зі змішаними пріоритетами використовується матриця пріоритетів (МП), яка являє собою квадратну матрицю:

$$Q = [q_{ij} | i, j = 1, \dots, H],$$

де  $H$  — число класів заявок, що надходять в систему.

Елемент  $q_{ij}$  матриці задає пріоритет заявок класу  $i$  відносно до заявок класу  $j$  і може приймати п'ять значення:

- 0 — немає пріоритету;
- 1 — пріоритет відносний (ПВ);
- 2 — пріоритет абсолютний (АП).

Елементи МП повинні задовольняти такі вимоги:

- $q_{ij} = 0$ , оскільки між заявками одного і того ж класу не можуть бути встановлені пріоритети;
- якщо  $q_{ij} = 1$  або 2, то  $q_{ji} = 0$ , оскільки якщо заявки класу  $i$  мають пріоритет до заявок класу  $j$ , то останні не можуть мати пріоритет до заявок класу  $i$  ( $i, j = 1, \dots, H$ ).

Залежно від можливості зміни пріоритетів у процесі функціонування системи пріоритетні дисципліни буферизації і обслуговування поділяються на два класи:

- зі статичними пріоритетами, які не змінюються з часом;
- зі динамічними пріоритетами, які можуть змінюватися в процесі функціонування системи залежно від різних факторів, наприклад, при досягненні деякого критичного значення довжини черги заявок якого-небудь класу, що володіє низьким пріоритетом, їй може бути наданий більш високий пріоритет.

**Балансування навантаження в мережі**

Розробка методу балансування навантаження в мережі стільникового оператора буде основана саме на застосуванні системи масового обслуговування. Балансування навантаження — здатність маршрутизатора розподіляти трафік по всім мережевим портам, які знаходяться на однаковій відстані від отримувача.

В алгоритмах розподілення навантаження використовується інформація про пропускну здатність і надійність каналів. Розподілення навантаження підвищує інтенсивність використання мережесегментів, а значить і ефективну пропускну здатність мережі в цілому. Розрізняють статичне і динамічне балансування навантаження. У випадку використання статичного балансування пропорції розподілення навантаження не змінюються під час роботи маршрутизатора. Такий підхід є досить простим, але малоефек-

тивним, доцільно використовувати динамічне балансування, яке передбачає перерозподіл навантаження під час роботи.

Основною складністю у вирішенні поставленої задачі є те, що за умови різної вартості маршрутів складно досягнути виконання вимог стосовно якості обслуговування. Також потрібно пам'ятати, що мережа являє собою складний розподілений об'єкт, передбачити поведінку якого в наступний момент часу не є можливим. У більшості випадків гарантована якість обслуговування може бути забезпечена тільки при виділенні віртуального каналу, який передбачає наявність одного маршруту з показниками продуктивності, які вимагаються.

У подібних умовах виникають ситуації, коли альтернативні маршрути будуть недовантажені, а забезпечити рівномірне завантаження мережі можливо буде лише пакетами, які не будуть чутливі до параметрів якості обслуговування.

Основними відмінностями даного методу від більшості існуючих є те, що він динамічний, а також дозволяє розподіляти навантаження в залежності від стану каналів між альтернативними маршрутами з різною вартістю.

Процес маршрутизації з врахуванням методу БН за маршрутами з різною вартістю зображений на рис. 1.

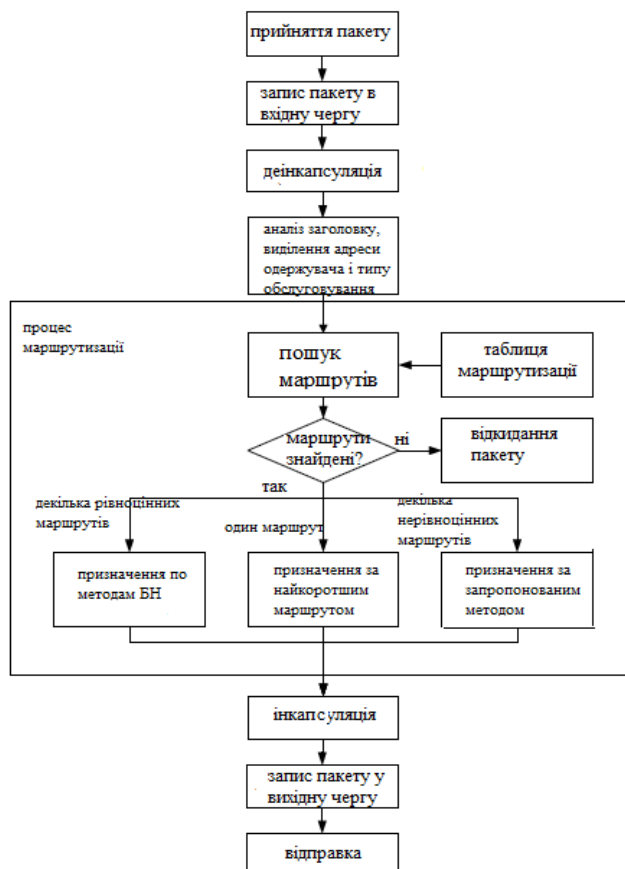


Рис. 1. Процес маршрутизації з урахуванням БН

Для ефективного дослідження і вирішення поставленого завдання розподілення (балансування) навантаження, важливо адекватно математично описати роботу маршрутизатора. Така математична модель повинна відображати функціональну сторону роботи маршрутизатора, а для прийняття рішень по управлінню має бути підкріплена інформацією про структуру і функціонування мережі.

По суті маршрутизатор представляє собою накопичувач з набором входів, через які надходить трафік, і набором виходів, через які трафік пересилається до наступних мережевих пристроїв. Тому модель маршрутизатора будемо розглядати як динамічну систему.

**Моделювання процесу розвантаження мережі**

Розглянемо навантаження мережі на прикладі найпростішої моделі масового обслуговування М/М/1, тобто одно каналної СМО з накопичувачем необмеженої ємності, у яку надходить неоднорідний потік заявок з експоненціальним розподіленням інтервалів часу між послідовними заявками (найпростіший потік) і експоненціальною тривалістю обслуговування заявок у пристрої. Побудуємо СМО з неоднорідним потоком заявок, у яку надходять  $H$  класів заявок з інтенсивностями  $\lambda_1, \dots, \lambda_H$ , графік розподілу яких зображено на рис. 2 та середніми тривалостями обслуговування  $b_1, \dots, b_H$  з урахуванням навантаження, що створюється заявками класу  $i$ :

$$y_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} = \lambda_i b_i \text{ (рис. 3).}$$

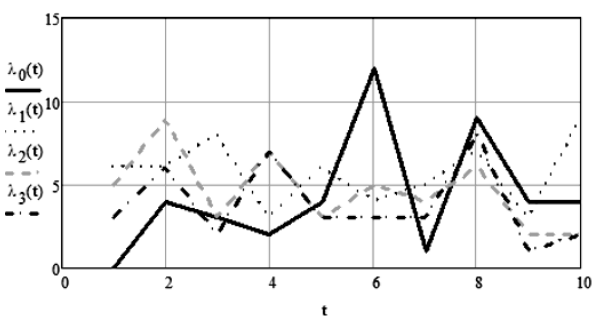


Рис. 2. Інтенсивність заявок залежно від часу

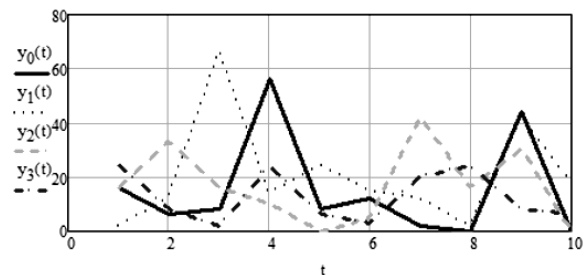


Рис. 3. Тривалість обслуговування заявок у різні проміжки часу

Ураховуючи ймовірність обслуговування заявки  $\pi_{0i} = (1 - \pi_{ni})$  розраховуємо інтенсивність потоку обслужених заявок (продуктивність по  $i$ -у класу заявок):  $\lambda_{0i} = \pi_{0i} \lambda_i = (1 - \pi_{ni}) \lambda_i$  (рис. 4).

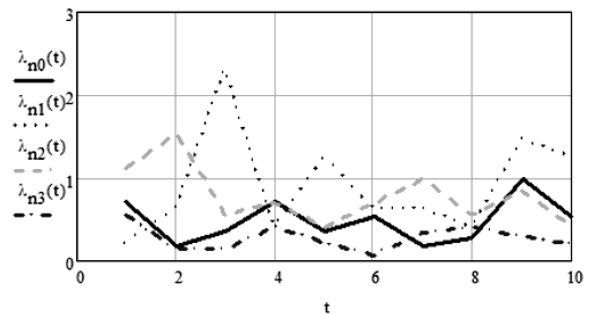


Рис. 4. Інтенсивність потоку обслужених заявок

Завантаженість системи, створена заявками класу  $i$ :  $\rho_i = \min\left(\frac{(1 - \pi_{ni}) y_i}{K}; 1\right)$  зображена на

рис. 5

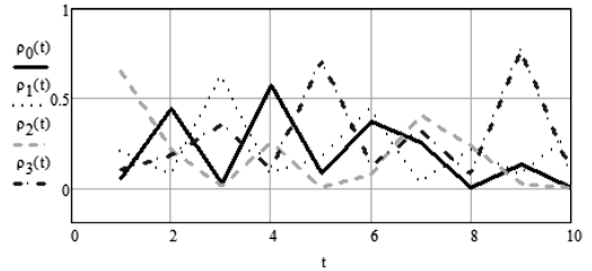


Рис. 5. Завантаженість системи

Рис. 6 демонструє завантаженість системи, створена заявками класу  $i$ :

$\rho_i = \min\left(\frac{(1 - \pi_{ni}) y_i}{K}; 1\right)$  після оптимізації перерозподілу потоків трафіку.

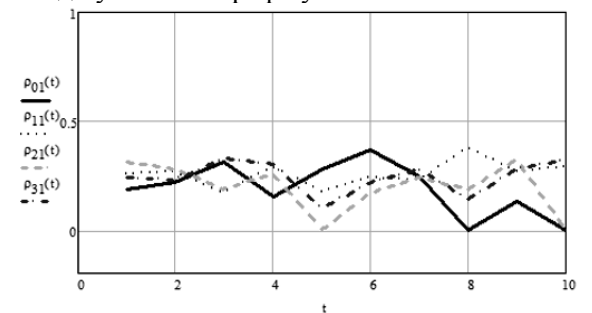


Рис. 6. Завантаженість системи після оптимізації

**Висновок**

Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з так званою «безшовною» (seamless) мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування.

Тому важливим завданням було дослідити алгоритми резервування ресурсів та методи

перерозподілу потоків трафіку опорної мережі стільникового оператора.

У результаті було доведено те, що розглянуті алгоритми мають свої переваги та недоліки у використанні, а вимоги кожного сервісу до передачі даних у мережі відрізняються, тому доцільно використовувати для кожного сервісу свій алгоритм резервування ресурсів мережі.

Крім того, було досліджено завантаженість системи на основі найпростішої моделі масового обслуговування М/М/1, тобто одно каналної СМО з накопичувачем необмеженої ємності. Отримані результати показують, що застосування динамічних моделей балансування навантаження дозволяє досягнути більш збалансованого розподілу трафіку по всій мережі і відповідно більш високих показників продуктивності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Особливості застосування генетичного алгоритму балансування навантаження в мережі* / С. Д. Погорілий, Р. В. Білоус // Проблеми програмування. — 2012. — № 2–3. — С. 85–92.
2. *Метод балансування абонентського навантаження мережі коміркового зв'язку* / Р. І. Бак, І. Б. Чайковський, Р. А. Бурачок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. — 2013. — № 766. — С. 110–115.
3. *R. Gandhi, H. H. Liu, Y. C. Hu, G. Lu, J. Padhye, L. Yuan, and M. Zhang. Duet: Cloud scale load balancing with hardware and software.* In Proceedings of SIGCOMM, 2014.
4. *Daniel E. Eisenbud, Cheng Yi, Carlo Contavalli, Cody Smith, Roman Kononov, Eric Mann-Hielscher, Ardas Cilingiroglu, Bin Cheyney, Wentao Shang, Jinnah Dylan Hosein: Maglev: A Fast and Reliable Software Network Load Balancer.* <http://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/ru/pubs/archive/44824.pdf>
5. *Wenhao Lin, Richard S. Wolff, Brendan Mumei: A Markov-Based Reservation Algorithm for Wavelength Assignment in All-Optical Networks.* Journal of lightwave technology, vol. 25, no. 7, July 2007, 1676-1683.
6. *A. Kalia, D. Zhou, M. Kaminsky, and D. G. Andersen. Raising the bar for using gpus in software packet processing.* In Proceedings of NSDI, 2015.
7. *V.K. Garg: Wireless Communications and Networking,* Elsevier Morgan Kaufmann, San Francisco, California, USA, 2007.
8. *В. О. Тухвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук: сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура.* — М. : Эко-Трендз, 2010. — 284 с.
9. *3GPP TS 36.300, V8.6.0, "UTRAN and E-UTRAN overall description, stage 2"*, September 2008.
10. *Website of J'son & Partners Consulting — Backhaul networks for broadband mobile communication:* [http://www.json.ru/en/poleznye\\_materialy/free\\_market\\_watches/analytics/transportnye\\_seti\\_backhaul\\_dlya\\_setej\\_shirokopolosnoj\\_mobilnoj\\_svyazi\\_tendenci\\_i\\_i\\_perspektivy\\_razvitiya\\_v\\_rossii\\_i\\_v\\_mire/](http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/transportnye_seti_backhaul_dlya_setej_shirokopolosnoj_mobilnoj_svyazi_tendenci_i_i_perspektivy_razvitiya_v_rossii_i_v_mire/), 14.10.2016.
11. *Shakil Akhtar 2G-5G Networks: Evolution of Technologies, Standards, and Deployment.* — 2010.
12. *Website of Sun microsystems — Advance Reservation:* <https://docs.oracle.com/cd/E19279-01/820-3256-12/AR.html>, 16.10.2016.
13. *Vincent Chi Chiu Wong: Lightpath Routing and Resource Resewation — An Integrated Solution for IP over DWDM Networks.* Bibliographic Services, 2001.
14. *Le Nguyen Binh: Routing and Wavelength Assignment in GMPLS-based 10 Gb/s Ethernet Long Haul Optical Networks with and without Linear Dispersion Constraints.* I. J. Communications, Network and System Sciences, 2008, 2, 105-206.
15. *Eitan Frachtenberg, Uwe Schwiegelshohn: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing.* 15th International Workshop, JSSPP 2010, Atlanta, GA, USA, April 23, 2010, Revised Selected Papers.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2016

УДК 621.396.621(045)

## РОЗРІЗНЕННЯ СИГНАЛІВ У НЕЛІНІЙНИХ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СТЕЖНИХ СИСТЕМАХ

**С. О. Шматок**, д-р техн. наук, проф.; **А. Б. Петренко**, канд. техн. наук, доц.;  
**О. С. Шматок**, канд. техн. наук, доц.

Національний авіаційний університет

e-mail: pab.05@mail.ru

*У роботі досліджується режим захоплення радіосигналу на автоматичне супроводження. Представлена методика кількісної оцінки процесу розрізнення сигналу в нелінійних детермінованих стежних системах першого та другого порядків, яка базується на теорії біфуркацій (катастроф) і розрахунок областей захоплення. Побудовані фазові портрети нелінійної стежної системи. Визначені умови зриву вимірювання за корисним сигналом.*

**Ключові слова:** стежна система, захоплення сигналу, область захоплення, точки стійкої і нестійкої рівноваги, біфуркаційна діаграма.

*In this paper the capture mode on the automatic tracking of a radio signal. The methods of quantifying signal resolution process in deterministic nonlinear tracking systems first and second order based on bifurcation theory (accident) and calculating the area of capture. The phase portraits of nonlinear tracking system. The conditions for tracking breakdown of the useful signal.*

**Keywords:** tracking system, capturing the signal pick-up area, in terms of stable and unstable equilibrium, bifurcation diagram.

### Постановка проблеми

Характерним для радіолокації являється вимірювання параметрів корисних сигналів на фоні завад, що істотно обмежує можливості розрізнення сигналів, відбитих від різних об'єктів. При автоматичному супроводженні цілей та виміру їх координат (параметрів руху) виникають випадки, коли в межах інтервалу розрізнення по одній або декількох координатах протягом деякого відрізка часу існують одночасно кілька сигналів. У таких випадках якість автосупроводження цілі повністю залежить від процесу розрізнення цих сигналів в нелінійній стежній системі.

### Аналіз досліджень та публікацій

Завдання захоплення радіосигналів на стежне вимірювання параметрів досліджувалось у багатьох працях [1, 3, 4, 5]. Так М. В. Капранов одним із перших запропонував «полосу захоплення» як кількісну характеристику успішного процесу захоплення в системах фазової автопідстроювання частоти (ФАПЧ). У працях С. В. Первачева, С. І. Євтянова і В. К. Снетковой запропоновані різні методи розрахунку полоси захоплення ФАПЧ з фільтрами першого та другого порядків [3]. Завдання захоплення сигналів у різноманітних системах ФАПЧ усебічно вивчається в фундаментальній роботі В. В. Шахгільдяна та А. А. Ляховкіна У книзі Я. Д. Ширмана розглянуто різні види оптимального розрізнення за нормальної статистики сигналів і завад [4].

### Мета роботи

Визначити умови розрізнення двох сигналів за допомогою областей захоплення в нелінійних детермінованих стежних системах з фільтрами оцінювання першого та другого порядку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

#### Нелінійна стежна система першого порядку

Нехай на нелінійну стежну систему (рис. 1) впливають два сигнали, які відбиті від цілей, що рознесені у просторі на деяку базу  $\Delta$ . Тоді нелінійна радіоелектронна система автоматичного управління буде містити параметричну дискримінаційну характеристику  $Y(z, \Delta)$ , де  $\Delta$  — кутова відстань між цілями (база) [2, 5, 6]. Якщо лінійна безперервна частина стежної системи описується передатною функцією вигляду  $K(S) = K_v/S$  (рис. 1), то диференціальне рівняння відносно сигналу розузгодження записується:

$$\frac{dZ(t)}{dt} = -K_v Y(Z, \Delta). \quad (1)$$

Положення точок рівноваги системи першого порядку відповідає рівнянню:

$$Y(Z, \Delta) = 0, \quad (2)$$

тобто співпадає з точками нуля параметричної дискримінаційної характеристики. Використовуємо апроксимацію параметричної дискримінаційної характеристики отримуємо рівняння:

$$Y(Z, \Delta) = Z \exp\left\{-\frac{b}{2} Z^2\right\} + \beta(Z - \Delta) \exp\left\{-\frac{b}{2} (Z - \Delta)^2\right\}. \quad (3)$$

За виразом (3) проведений розрахунок параметричної дискримінаційної характеристики для деяких значень  $\Delta$  і  $\beta$ . Відповідні графіки представлені на рис. 2, а, б, в, г, д.

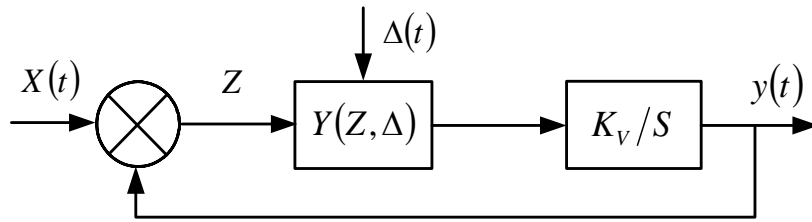
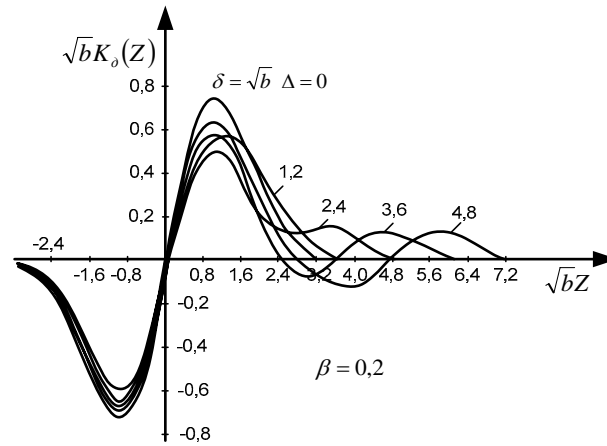
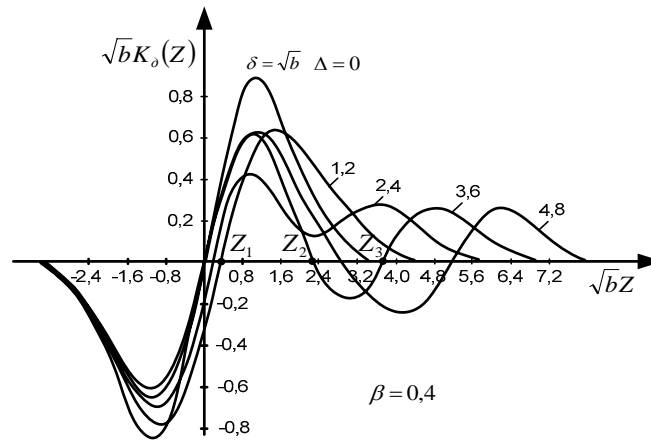


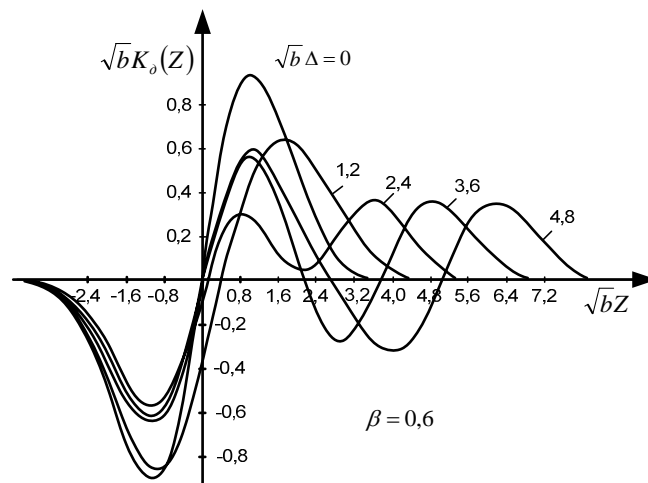
Рис. 1. Схема лінійної безперервної частини стежної системи



a



b



в

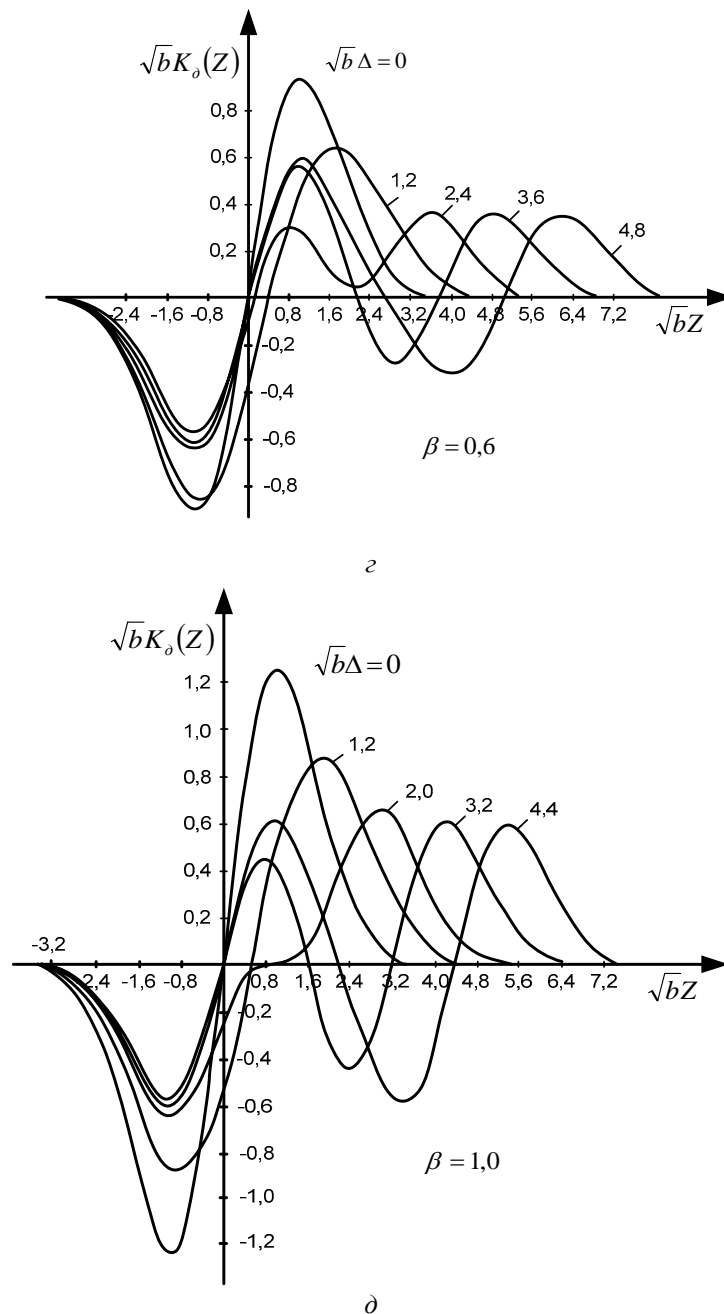


Рис. 2. Фазовий портрет системи при:  
 $a - \beta = 0,2$ ;  $b - \beta = 0,4$ ;  $c - \beta = 0,6$ ;  $z - \beta = 0,8$ ;  $d - \beta = 1,0$

Із графіків видно, що при досягненні величиною бази значень  $\sqrt{b}\Delta p$  при  $\beta = 1,0$  та  $2,4 < \sqrt{b}\Delta p < 3,6$  при  $\beta = 0,4$  у параметричній дискримінаційній характеристиці появляються додаткові точки нульових значень.

При  $\beta = 1,0$  появи нових точок нульових значень передусе обнуління крутизни у точці «старого» нуля. Серед точок нульових значень, що з'явилися, є точки, які відповідають стійкому і нестійкому станам рівноваги системи. Так, наприклад, при  $\beta = 0,4$  та  $\sqrt{b}\Delta = 3,6$  точки  $Z_1$  і  $Z_3$ ,

є точками стійкої рівноваги системи, а  $Z_2$  точка нестійкої рівноваги.

Як видно з рис. 2,  $b$ , точка  $Z_2$  поділяє області захоплення для  $Z_1$  і  $Z_2$  (у даному випадку областю захоплення є відрізки, що розташовані на дійсній осі, яка є одновимірним фазовим простором). Таким чином, необхідною умовою розрізнення двох сигналів у нелінійній стежній системі є біфуркація точки стійкої рівноваги і поява в результаті цього двох нових точок. Умовою біфуркації є рівність  $\Delta = \Delta p$ . Рух зображуючої точки системи після біфуркації стану рівноваги



визначається низкою додаткових умов і може бути таким. Зображуюча точка може переміститися в область притягування одного з двох новоутворених станів стійкої рівноваги. При цьому відбувається перехоплення одного з двох сигналів, що власне, і є процесом розрізнення.

Якщо зображуюча точка системи появляється поза межами областей притягування нових точок рівноваги, то припиняється автоматичне супроводження, тобто відбувається зрив стеження (вимірювання). При значеннях бази між двома сигналами, що перевищують  $\Delta p$ , ( $\Delta > \Delta p$ ) точки стійкого та нестійкого стану рівноваги можуть зберегтись, або відбувається їх наступна біфуркація. Для дослідження подальших змін властивостей фазового портрета, зручно користуватися біфуркаційною діаграмою, під якою розуміють залежність  $Z_i = \alpha(\Delta)$ , де  $Z_i$  — значення сигналу

похибки, за якого параметрична дискримінаційна характеристика перетворюється на нуль, тобто  $Y(Z_i, \Delta) = 0$ . Для прийнятої апроксимації дискримінаційної характеристики біфуркаційна діаграма представлена на рис. 3.

Гілки «а» і «б» діаграми відповідають апертурі параметричної дискримінаційної характеристики, яка визначена за спадом характеристики на краях до рівня 0,01 максимумів. З рис. 3 видно, що ці гілки небагато змінюються при зміні відношення потужностей сигналів двох цілей, яке оцінюється параметром  $\beta$ , ( $\beta_1 = 1,0$  і  $\beta_2 = 0,4$ ).

Гілки «д» і «в» відповідають переміщенню вздовж осі абсцис точок стійкої рівноваги системи, а гілка «г» — переміщенню точок нестійкої рівноваги. На рис. 4 представлена та сама біфуркаційна діаграма, але у збільшеному масштабі для декількох значень параметрів  $\beta$ .

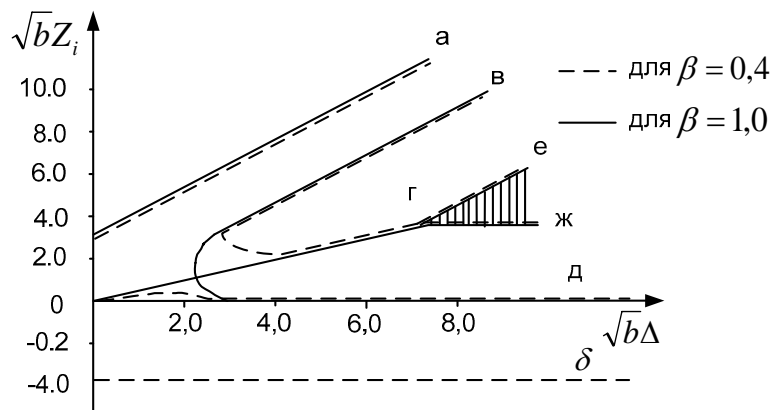


Рис. 3. Біфуркаційна діаграма

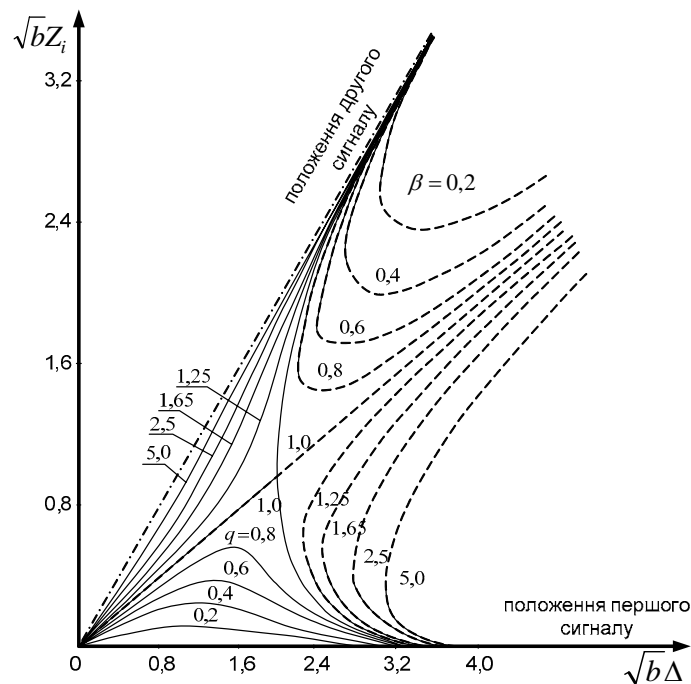


Рис. 4. Біфуркаційна діаграма

При цьому пунктирні лінії відповідають положенням тих точок нуля дискримінатора, які є нестійкими станами рівноваги системи, суцільні лінії — положенням точок стійкої рівноваги. З діаграми видно, що відмінність між потужностями сигналів двох цілей призводить до того, що біфуркаційне значення відстані між цілями збільшується. Відповідно, чим більше  $\beta$  відрізняється від одиниці, тим при більших значеннях бази  $\Delta p$  може відбутися розрізнення двох цілей в нелінійній стежній системі.

Гілки біфуркаційної діаграми, які відповідають положенням точок нестійкої рівноваги системи, є границями областей захоплення (притягування) стійких точок рівноваги.

Звідси можливо зробити висновок, що біфуркаційна діаграма є повною характеристикою процесу розрізнення цілей в нелінійній детермінованій стежній системі з фільтром оцінювання першого порядку.

Крім того, за гілками, що відповідають точкам стійкої рівноваги, можна визначати величину складової динамічної помилки стеження, яка викликається впливом іншої цілі. При цьому, за початок відліку необхідно вибрати координатну вісь  $Z_i = 0$  (вісь абсцис) і бісектрису координатного кута  $Z_i = \Delta$ , які характеризують точне положення цілей.

## 2. Нелінійна стежна система другого порядку.

Проведемо оцінювання умов розрізнення двох сигналів за допомогою областей захоплення в нелінійних стежних системах другого порядку [2]. Вважатимемо, що за тих же умов лінійна безперервна частина описується системою диференціальних рівнянь (4), але дискримінаційна характеристика є параметричною, тобто залежить від параметра  $\Delta$ .

Тоді

$$\left. \begin{aligned} \frac{dZ(t)}{dt} &= y(t), \\ \frac{dy(t)}{dt} &= -K_w Y(Z, \Delta) - K_w T \frac{dY(Z, \Delta)}{dZ} y(t). \end{aligned} \right\} (4)$$

Для визначення стану рівноваги та оцінки стійкості системи другого порядку можливо використовувати ті ж способи, що і для системи першого порядку.

Але для систем другого порядку області захоплення яких визначаються у двохмірному фазовому просторі, біфуркаційна діаграма характеризує процес розрізнення не повністю. Тому, для систем другого і більш вищого порядку процес розрізнення доцільно характеризувати за допомогою областей захоплення.

Біфуркаційна діаграма в даному випадку буде аналогічна, яка досліджувалась раніше. За її допомогою можливо розрахувати координати точок станів рівноваги, визначити їх стійкість і т. д.

У даному випадку, будемо обчислювати області захоплення після біфуркацій станів рівноваги (рис. 5, а). У момент біфуркації стану рівноваги (розглядається двоцільова ситуація) фазовий портрет системи другого порядку матиме вигляд, як показано на рис. 5, б.

З рис. 5, б видно, що в якості границь областей захоплення доцільно вибирати «вуси»  $EG$ ,  $DC$  та сепаратриси  $AA_1$  і  $A_1B$ , що проходять через точку нестійкої рівноваги.

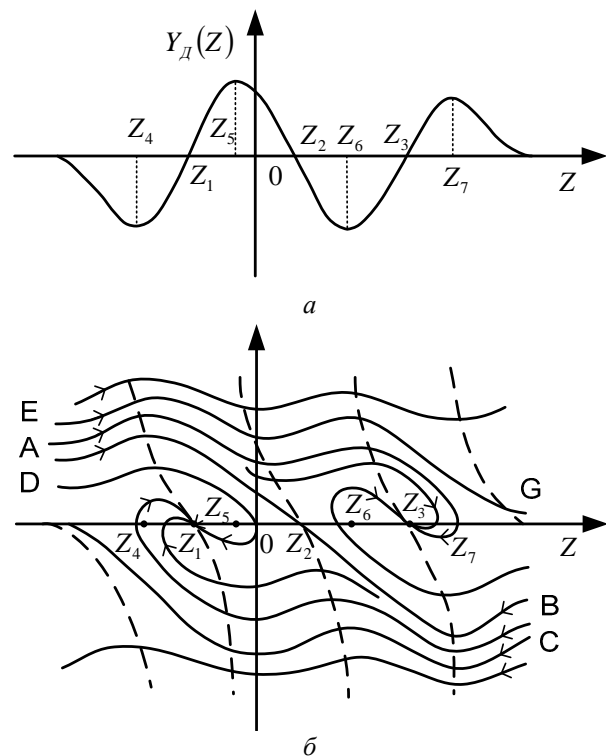


Рис. 5. Области захоплення нелінійної системи другого порядку

Їх розрахунок здійснюється шляхом рішення системи рівнянь (4) після обернення часу та відповідного визначення за фазовим портретом системи початкових умов. При цьому, початкові умови для розрахунку сепаратрис  $AA_1$  та  $A_1B$  визначаються на границях точки нестійкої рівноваги  $Z_2$  (можливо користуватись біфуркаційною діаграмою). Початкові умови для розрахунку «вусів»  $EG$  та  $DC$  можна задати з умови того, що їх асимптотою є вісь абсцис (нескінченна ізоклина фазової площини  $y, z$ ). На рис. 6, а, б, в, г представлені декілька розрахованих областей захоплення, що відповідають наступним розрахованим умовам:  $K_w = 10c^{-2}$ ;  $T = 2c$ ;  $\sqrt{b}\Delta = \delta = 3,0$ ;  $\beta = 1,0; 0,8; 0,6; 0,4$ .

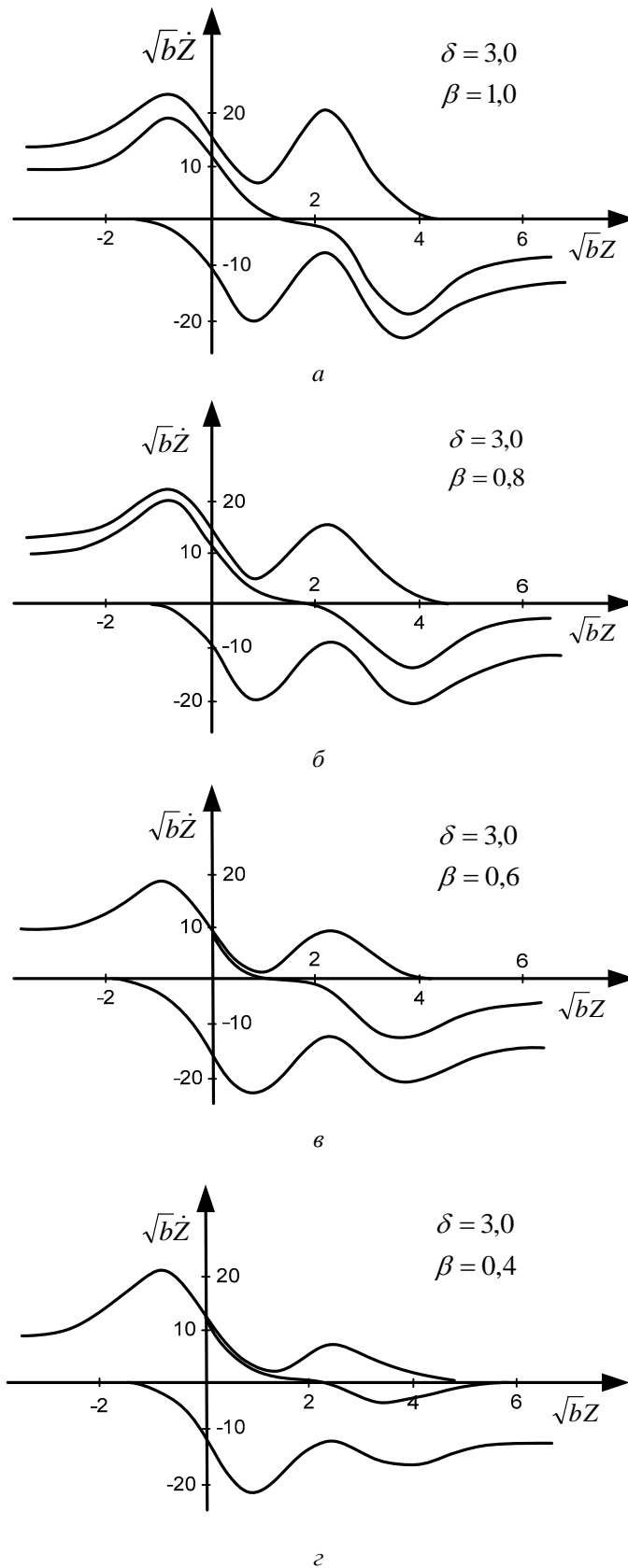


Рис. 6. Области захоплення нелінійним детермінованим стежним вимірювачем із фільтром оцінювання другого порядку при  $\delta = 3,0$ ; а —  $\beta = 1,0$ ; б —  $\beta = 0,8$ ; в —  $\beta = 0,6$ ; г —  $\beta = 0,4$

З представлених графіків можливо зробити висновок, що в системах другого порядку на процес розрізнення двох цілей в нелінійній стежній системі впливає не тільки положення зображуючої точки, а ще і швидкість її переміщення у момент біфуркації первинного стану рівноваги. Розміри областей захоплення суттєво залежать від потужностей сигналів, які надходять від цілей. Так сигнал з більшою потужністю має більшу область захоплення.

Аналізуючи графіки, що показані на рис. 6, бачимо «подавлення» сигналу з меншою потужністю сигналом з більшою, у тому сенсі, що умови його захоплення погіршуються. Це «подавлення» послаблюється зі збільшенням баз  $\Delta$  між сигналами.

### Висновок

Таким чином, поняття області захоплення, дозволяє увести кількісний аналіз захоплення окремих сигналів у нелінійних стежних детермінованих системах і процесу розрізнення декількох сигналів з урахуванням динамічних властивостей систем і характером змін параметрів вхідних сигналів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Радиотехнические системы*: учебник для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; под ред. Ю. М. Казаринова. — М.: Высш. шк., 1990. — 496 с.
2. *Шматок С. А.* Основы автоматического управления систем РЭС. Автоматические устройства поиска и захвата сигналов в радиоэлектронных следающих системах / С. А. Шматок, В. Ф. Лукьянов. — Минск: МВИЗРУ ПВО, 1976. — 197 с.
3. *Первачев С. В.* Статистическая динамика радиоэлектронных следающих систем / С. В. Первачев,

А. А. Валуев, В. И. Чиликин. — М.: Сов. радио, 1973. — 487 с.

4. *Ширман Я. Д.* Разрешение и сжатие сигналов / Я. Д. Ширман. — М.: Сов. радио, 1974. — 360 с.

5. *Баранов О. А.* Нелінійна стохастична динаміка фільтрів оцінювання: захоплення та розподіл сигналів / О. А. Баранов, С. П. Лісовий, С. О. Шматок. — К.: Радіоаматор, 2000. — 217 с.

6. *Шматок А. С.* Математическая модель дискретного нелинейного следающего измерителя частоты первого порядка / А. С. Шматок, А. Б. Петренко // наук.-практ. конф. «Інтегровані інформаційні технології та системи», зб. тез. — К.: НАУ, 2007. — С. 151–153.

### REFERENCES

1. *Radio-technical systems*: Proc. for by special institutions. «Radio» N / S.P. Grishin, V.P. Ipatov, Y.M. Kazarinov etc.; ed. Y.M. Kazarinova. — M.: Higher. wk, 1990. — 496 p.
2. *Shmatok S. A.* Fundamentals of automatic control systems of RES. Automatic device search and seizure of electronic signals in servo systems / Shmatok S. A., Lukyanov V. F. — Minsk MVIZRU defense, 1976. — 197 p.
3. *Pervach S. V.* Statistical dynamics of electronic tracking systems / Pervach S. V., Valuev A. A., Chilikin V. I. — M.: Sov. radio, 1973. — 487 p.
4. *Shearman Y. D.* Resolution and compression of signals / Shearman Y. D. — M.: Sov. radio, 1974. — 360 p.
5. *Baranov O. A.* Nonlinear stochastic dynamics evaluation filters: capture and distribution of signals / O. A. Baranov, S. P. Lisovy, S. A. Shmatok. — K., radio, 2000. — 217 p.
6. *Shmatok A. S.* Mathematical model of nonlinear discrete tracking meter frequency of the first order / A. S. Shmatok, A. B. Petrenko // nauk.-pract. conf. «Integrovani informatsiyni tehnologii that system» st. mes. — K.: UNAM, 2007. — P. 151-153.

Стаття надійшла до редакції 25.11.16

УДК 004.89 (045)

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЦІКАВЛЕНOSTІ КОРИСТУВАЧА НАВЧАЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ В АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Є. Б. Артамонов, канд. техн. наук,

Національний авіаційний університет

E-mail: eart@ukr.net

*Одним із завдань інформатизації вищої школи є підвищення якості підготовки фахівців за рахунок упровадження нового інформаційно-освітнього середовища з можливістю автоматичної адаптивної зміни інформаційних ресурсів. У статті розглядаються методи оцінки зацікавленості користувача навчальними матеріалами, на основі яких здійснюється вибір сценарію надання навчальних ресурсів.*

**Ключові слова:** адаптивні навчальні курси, системи навчання, рівень зацікавленості, програмне забезпечення.

*One of the tasks of the higher school informatization is to improve the quality of specialists training through the introduction of information-educational environment with automatic adaptive changes of information resources. This article discusses methods for estimating user interest to learning materials on the basis of which the selection of scenario of the educational materials.*

**Keywords:** adaptive training, learning system, fuzzy sets, interest rate, software.

### Вступ

Сучасні тенденції розвитку електронної освіти базуються на потужному підґрунті інформаційних технологій, запроєктованих та об'єднаних з числа існуючих (наприклад, Semantic WEB). Насамперед, це стосується моделей, стандартів, специфікацій і форматів метаданих, таких як RDF, LOM, Dublin Core, SCORM, AICC тощо, в основу яких покладено мову XML. Останнім часом набули популярності мови розмітки Веб-онтологій OWL та логічного виведення SWRL, побудовано значну кількість інструментальних оболонок для контенту Semantic Web. З іншого боку, в мережі Інтернет існує величезна кількість текстових документів в електронній формі, що можуть бути використані з навчальною метою, але не мають заповнених метаданих.

Доступність і масштабність обсягів електронних навчальних курсів (ЕНК) лише поглиблюють складність аналізу якості його змістовного наповнення з точки зору завдань навчального процесу (НП). Як і до появи Інтернету, так і на сьогодні рішення про доцільність застосування певної інформації в навчальному процесі може прийняти лише експерт з предметної області (ПО) знань. Пошук та аналіз потрібного для НП тексту нерідко потребує завеликого часу. Тому якісна інформаційна підтримка всіх форм сучасного НП вимагає значних витрат ресурсів, у тому числі витрат часу кваліфікованих фахівців.

Окремою проблемою при формуванні ЕНК є відсутність попереднього аналізу контингенту користувачів та швидкого зворотного зв'язку щодо засвоєння матеріалу та втрати зацікавленості в проходженні навчального курсу. Дані

недоліки унеможливають гнучко коригувати курс навчання, що призводить до неякісного надання освітніх послуг.

Ідея впровадження адаптивних методик у навчальний процес є відносно новою в сучасній українській освіті, але для закордонних навчальних закладів даний підхід не тільки знайшов застосування, але і достатньо закріпився для накопичення статистичної інформації. Так серед робіт за цією тематикою слід виділити кілька напрямів дослідження:

1) подача інформації адаптивним шляхом: Evidence-Based Educational Methods [1], Adaptive Authoring of Adaptive Educational Hypermedia [2].

2) упровадження адаптивного тестування знань: Adaptive Testing [3], Adaptive assessment of student's knowledge in programming courses [4], Computerized Adaptive Testing for Classifying Examinees into three Categories [5].

Праці [1, 2] присвячені опису процесу створення адаптивних курсів та проблем, які виникають при цьому. Дані курси складаються з тем, пов'язаних між собою, та можливістю подавання в певній послідовності, яка визначається алгоритмами системи ЕНК. У праці [2] описано набір необхідних функціональних можливостей і архітектурних особливостей авторингу систем для адаптивного викладання.

Підхід до формування навчальних матеріалів вже розглядався одним з авторів цієї роботи попередньо [3] та передбачав введення розподілу значимих (підконтрольних) елементів ЕНК до рівня абзаців.

Але сучасні засоби обробки матеріалів ЕНК не дозволяють розв'язати окреслені проблеми,

тому що в них не закладені інтелектуальні можливості людини-експерта, у першу чергу відсутня властивість адаптації контенту у відповідності до вимог та рівня підготовки користувача. Тому є необхідність у реалізації інтелектуалізованих пошукових робіт в межах ЕНК, що здатні забезпечити таку властивість на основі використання загальної бази знань та відрізняються достатнім рівнем розуміння сенсу природно-мовних (ПМ) конструкцій контенту.

### Постановка проблеми

Актуальною науково-прикладною проблемою, що підлягає вирішенню, є відсутність у сучасних ЕНК властивості адаптування загальної бази знань НП на основі автоматичного коригування виду та порядку представлення матеріалів ЕНК з можливістю підтримки інтерактивних функцій. Разом з іншими факторами, проблема призводить до значної залежності НП від експерта-викладача. Але у випадку самоосвіти або дистанційного навчання експерт-викладач або відсутній, або зворотний зв'язок з ним відбувається з часовою затримкою. Тому є необхідність у прийнятті системою навчання рішень щодо формування матеріалів ЕНК в автоматичному (а іноді і автономному) режимі.

Одним з елементів системи автоматичного формування навчальних ресурсів є модуль прийняття рішень щодо зацікавленості користувача вже опрацьованим матеріалом, на основі результатів даного модуля система може обирати один з заздалегідь підготовлених сценаріїв подальшого розгортання навчальних матеріалів.

Методи дослідження базуються на використанні системного аналізу, математичного апарата теорії графів, теорії нечітких множин, алгебри логіки та теорії формальних систем.

Але відомі підходи до визначення зацікавленості навчальним матеріалом, які можна розглядати, як елементи експертної системи, мають як певні переваги, так і певні недоліки. Дана робота направлена на пошук методів розв'язку задачі автоматичного визначення рівня зацікавленості користувача навчальним матеріалом.

### Байєсівський підхід до задачі визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом

При описуванні байєсівського підходу будемо використовувати матеріали праць [4, 5, 6]. Нехай  $P(d_j)$  — апіорна ймовірність значення рівня зацікавленості  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ;  $P(X^*/d_j)$  — умовна ймовірність появи у об'єкта з параметрами реакції користувача  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  рівня зацікавленості  $d_j$ ;  $P(d_j/X^*)$  — апостеріорна ймовірність рів-

ня зацікавленості  $d_j$  у об'єкта, який задано вектором параметрів стану  $X^*$ .

Тоді за теоремою Байєса

$$P(d_j/X^*) = \frac{P(d_j)P(X^*/d_j)}{\sum_{j=1}^m P(d_j)P(X^*/d_j)}.$$

За допомогою цієї формули можна перерахувати апіорні ймовірності різних рівнів зацікавленості навчальним матеріалом у апостеріорні ймовірності цих подій при отриманні інформації про об'єкт, який визначається вектором параметрів реакції користувача  $X^*$ . Після обчислення апостеріорних ймовірностей усіх можливих рівнів зацікавленості  $d_j$ , ( $j = \overline{1, m}$ ) як рішення обирається рівень зацікавленості з найбільшою ймовірністю.

Різним модифікаціям байєсівського підходу, які можуть бути використані у визначенні рівня зацікавленості, властиві такі обмеження:

1. Статистична інформація, що необхідна для застосування теореми Байєса, як правило, відсутня. Її збір, обробка і зберігання пов'язані зі значними організаційними й обчислювальними труднощами.

2. Значною проблемою є внесення в модель нової інформації, що обумовлено необхідністю перерахування усіх ймовірностей.

3. Використання теореми Байєса ґрунтується на припущенні, що кожен з рівнів зацікавленості має свої набори параметрів реакції користувача, що не перетинаються. На практиці це не завжди виконується, оскільки однакові параметри реакції користувача можуть зустрічатися при різних рівнях зацікавленості.

### Визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом методом фазового інтервалу

В основі різних модифікацій цього методу [4] лежить ідея віднесення рівня зацікавленості навчальним матеріалом, що характеризується вектором параметрів реакції користувача, до того чи іншого рівня на основі обчислення відстаней між двома точками у фазовому просторі. Розглядається  $n$ -вимірний простір, кожна координата  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  якого відповідає одному з параметрів реакції користувача. Кожній точці  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  фазового простору ставиться у відповідність рівень зацікавленості навчальним матеріалом  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

На основі вивчення експертних оцінок рівня зацікавленості з правильно визначеними причинами їх появи в фазовому просторі можна виділити області (множини точок), що відповідають рівням  $d_1, d_2, \dots, d_m$ .

Центри цих областей визначаються точками  $C_1, C_2, \dots, C_m$ , відповідно. Нехай  $X^*$  - точка у фазовому просторі, що відповідає реакції користувача на окремих елемент ЕНК;  $R(X^*, C_j)$  — інтервал або відстань між точками  $X^*$  та  $C_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Тоді як рівень зацікавленості навчальним матеріалом, що відповідає вектору  $X^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , обирається точка  $C^*$  (або рівень  $d^*$ ), для якої

$$R(X^*, C^*) = \min_{j=1, m} \{R(X^*, C_j)\}.$$

Для обчислення інтервалу  $R(A, B)$  між точками  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  та  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$  в  $n$ -вимірному просторі може використовуватися відстань за Хеммінгом:

$$R(A, B) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|,$$

або декартова відстань

$$R(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}.$$

У порівнянні з байєсівським підходом метод фазового інтервалу не вимагає накопичення великого статистичного матеріалу і його трудомісткої обробки. Однак застосування цього методу обмежене тільки кількісними або бінарними параметрами реакції користувача.

#### Визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом методом логічного висновку

Цей метод знаходить зараз широке застосування в діагностичних експертних системах [7] та доволі часто одним з варіантів його програмної реалізації є використання мови програмування Пролог. Основою мови програмування Пролог є апарат логіки предикатів [8], яка дозволяє здійснювати автоматичне доведення теорем. Відповідно до цієї методології рівень зацікавленості навчальним матеріалом  $d^*$  може бути поставлено об'єкту з вектором параметрів  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , якщо у базі знань існує логічна ланка для доведення вірності твердження:

$$\text{ЯКЩО } x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*, \text{ ТОДІ } d^*.$$

Пролог зручний для пошуку ланок правил, що ведуть від фактів  $x_i^*$  до мети  $d^*$ , або навпаки, від мети до фактів, що вибираються з бази знань. Це дозволяє не тільки надавати експертну оцінку, але й пояснювати причини прийнятого рішення. Однак існує велика кількість знань, що мають нечітку та лінгвістичну природу. Наприклад, при визначенні рівня зацікавленості навчальним матеріалом це знання типу:

ЯКЩО — позитивне враження від прочитаного матеріалу;

ТА — перерахування окремих визначень;

ТА — пошук додаткових матеріалів;

ТОДІ — рівень зацікавленості високий рівень (вимагає розкриття матеріалів вищої складності).

Для подібних знань у системі необхідно ввести коефіцієнт упевненості зі значеннями від  $-1$  до  $1$  (від ненадійних до достовірних знань). Цей спосіб досить простий, але якийсь мірою суб'єктивний. До того ж коефіцієнт упевненості визначає все правило, але що ж робити з такими нечіткими поняттями, як значне позитивне враження від прочитаного матеріалу, перерахування окремих визначень і т.п.?

Для реалізації дедуктивного логічного висновку у Пролозі необхідна операція пошуку за зразком. Іншими словами, для висновку за допомогою правила «ЯКЩО  $x \in A$ , ТОДІ  $y \in B$ » необхідно передусім перевірити, чи існує в базі знань факт « $x \in A$ ». Пролог не забезпечує можливості логічного висновку у проміжних точках типу « $x \in$  величина близька до  $A$ ». Тому в базі знань необхідно зберігати інформацію про всі допустимі значення параметра  $x$ . Це призводить до катастрофічного зростання часу проектування бази знань. Наприклад, якщо стан об'єкта описується десятикоординатним вектором, а кожна координата може приймати одне з чотирьох можливих значень, тоді повна база знань для цього об'єкта повинна складатися з  $4^{10} = 1\,048\,576$  правил.

#### Використання нейронних мереж для визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом

Для того, щоб нейронна мережа правильно оцінювала рівень зацікавленості навчальним матеріалом, її попередньо навчають. Навчання мережі здійснюється шляхом модифікації ваг міжнейронних зв'язків. Зараз використовуються ефективні методи навчання нейронних мереж [9], що стимулює роботи з їх практичного застосування. Але для того, щоб навчити нейронну мережу на достатньому рівні, необхідно мати великий набір еталонних (ідеальних) пар «входи-вихід».

Іншим недоліком нейронних мереж є відсутність можливості пояснення процесу отримання відповіді. Це зумовлено тим, що нейронні мережі як універсальні апроксиматори використовують для різних залежностей «входи-вихід» одні й ті ж самі структурні моделі. Результат залежить від параметрів настроювань — ваг міжнейронних зв'язків, які не піддаються змістовній інтерпретації.

Зазначимо, що нейронні мережі недостатньо пристосовані до роботи з нечіткою лінгвістичною початковою інформацією. Крім того, імплементація експертних лінгвістичних правил в нейронну мережу залишається складним процесом, хоча в останній час намітився деякий прогрес у цій області [9].

### Використання нечіткої логіки для визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом

Нечітка логіка — це формальний математичний апарат, який спеціально розроблений для представлення та використання знань у вигляді природно-мовних висловлювань [9]. У системах діагностування, що засновані на нечіткій логіці, визначення діагнозу здійснюється шляхом логічного висновку по нечіткій базі знань. Нечітка база знань являє собою сукупність лінгвістичних знань - правил типу:

ЯКЩО  $x_1 = a$  ТА  $x_2 = b$  ТА  $x_3 = c$ , ТОДІ  $D = d$ , де  $a, b, c, d$  — слова або словосполучення природної мови.

Правила, що входять в нечітку базу знань, являють собою концентрацію досвіду експерта та його розуміння зв'язку «входи-вихід». Особливістю нечіткого логічного висновку є можливість встановлення діагнозу для випадку, коли в базі знань відсутній прецедент. Іншими словами, можливо за правилом з нечіткої бази знань формально відповісти на питання: «Яким буде  $D$ , якщо  $x_1 = \text{більше } a$  та  $x_2 = \text{менше за } b$  та  $x_3 = \text{трохи більше за } c$ ?». Спеціально розроблені методи дозволяють проводити нечіткий логічний висновок за якісних (лінгвістичних), кількісних та бінарних параметрах стану об'єкта, який діагностується.

Але для повноцінного використання системи нечіткого логічного висновку її необхідно налаштувати [10], що значно розширює область її практичного застосування. Налаштування систем нечіткого логічного висновку, і навчання нейронних мереж, зводиться до пошуку таких значень параметрів моделі оцінки, які мінімізують розбіжність між бажаним (еталонним) та модельним результатами.

Але на відміну від нейронних мереж необхідний обсяг навчаючої вибірки (еталонних пар «входи-вихід») є значно меншим. Це досягається за рахунок того, що структура моделі діагностування (нечітка база знань) — є для кожної задачі оцінки унікальною, а не універсальною, як для нейронних мереж. Наявність унікальної структури моделі діагностування для кожного класу задач дозволяє не тільки значно скоротити обсяг навчаючої вибірки, але і забезпечити певну робастність, тобто нечутливість моделі до випадкових викидів початкових даних. Підкреслимо, що нечітка база знань може бути легко сформована досвідченим експертом, оскільки вона являє собою сукупність природно-мовних висловлювань.

### Порівняльний аналіз методів визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом

Аналіз розглянутих вище методів визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом зведено до таблиці, де А — байєсівський підхід, Б — метод фазового інтервалу, В — метод логічного висновку, Г — нейронні мережі, Д — нечітка логіка, + (–) — наявність (відсутність) труднощів.

Із таблиці видно, що найсуттєвішим обмеженням методів А, Б, В, Г є неспроможність роботи з якісними (нечисловими) параметрами і нечіткими знаннями, тобто знаннями, які задаються природною мовою. Однак саме такі евристичні знання частіше за все використовуються досвідченими фахівцями при визначенні рівня зацікавленості. Із таблиці видно, що метод, який найбільш придатний до подолання труднощів, які виникають при визначенні рівня зацікавленості навчальним матеріалом, є нечітка логіка. Нечітка логіка дозволяє імітувати вербальне перекодування, яке відбувається в людському мозку під час обробки інформації та прийнятті рішень.

Труднощі застосування методів визначення рівня зацікавленості навчальним матеріалом

Труднощі	Методи				
	А	Б	В	Г	Д
Збір і обробка статистичної інформації	+	–	–	–	–
Поповнення моделі	+	–	–	+	–
Забезпечення стійкості моделі до впливаючих факторів	+	–	–	–	–
Врахування якісних параметрів	+	+	–	+/-	–
Врахування кількісних параметрів	–	–	+	–	–
Роботи з нечіткими знаннями	+	+	+	+	–
Адаптації (навчання) моделі	+	+/-	+	–	–

Останнім часом теорія нечітких множин застосовується в таких традиційних задачах САПР, як проектування, управління та прийняття рішень, тому основне завдання, яке необхідно вирішити для визначення рівня зацікавленості

навчальним матеріалом, є апробація вже відомих методів та побудова відповідної математичної моделі зв'язку рівня зацікавленості з реакцією користувача.

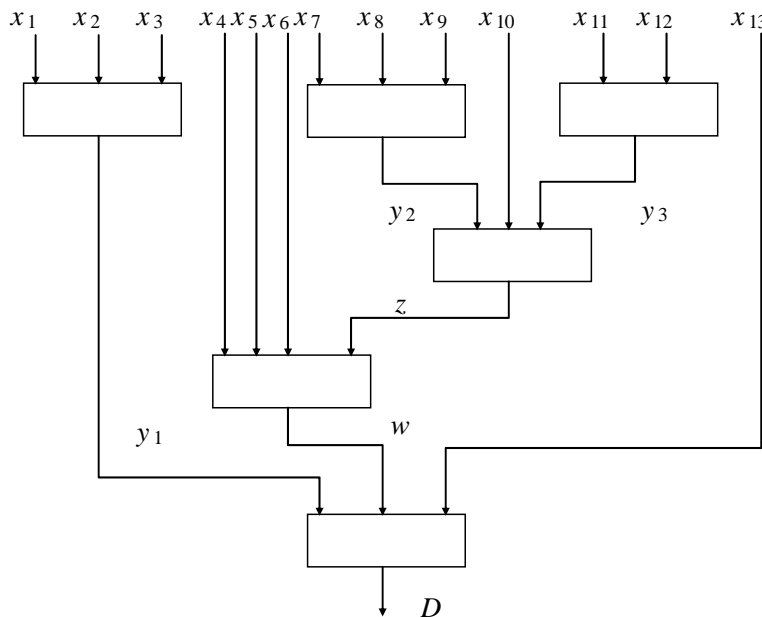


**Принципи ієрархічності знань в задачах оцінки рівня зацікавленості навчальним матеріалом**

Використання цього принципу дозволяє подолати так зване «прокляття розмірності». При великій кількості параметрів стану побудова системи висловлювань про невідому залежність «входи-вихід» стає досить складною. Це зумовлено тим, що в оперативній пам'яті людини од-

ночасно може утримуватись не більше  $7 \pm 2$  понять-ознак [5]. У зв'язку з цим доцільно провести ієрархічну класифікацію входних змінних (параметрів реакції користувача) і по ній побудувати дерево висновку, яке буде визначати систему вкладених одне в одне висловлювань-знань меншої розмірності.

Приклад такого дерева для тринадцяти входних змінних показано на рисунку.



Приклад дерева висновку

З прикладу видно, що знання виду  $D = f(x_1, x_2, \dots, x_{13})$ , які зв'язують входи  $x_1 \div x_{14}$  з виходом  $D$ , замінюються послідовністю співвідношень:

$$D = f_1(y_1, w, z);$$

$$y_1 = f_2(x_1, x_2, x_3), y_2 = f_2(x_7, x_8, x_9), y_3 = f_3(x_{11}, x_{12}),$$

$$z = f_4(y_2, y_3, x_{10});$$

$$w = f_5(z, x_4, x_5, x_6),$$

де  $y_1, y_2, y_3, z, w$  — проміжні лінгвістичні змінні.

За рахунок принципу ієрархічності можна враховувати практично необмежену кількість параметрів стану, що впливають на оцінку. Під час побудови дерева висновку необхідно намагатися, щоб число аргументів (вхідних стрілок) у кожному вузлі дерева задовольняло числу  $7 \pm 2$ .

Доцільність порівневого представлення експертних знань обумовлена не тільки природною ієрархічністю об'єктів, але й необхідністю врахування параметрів стану у міру накопичення знань про об'єкт. Крім того, використання принципу ієрархічності дозволяє спростити правила та суттєво зменшити їх кількість.

**Висновки**

Унаслідок розв'язання поставлених завдань дослідження передбачається отримати сукуп-

ність нових наукових результатів, які дозволять послідовно обґрунтувати методи оцінки зацікавленості навчальним матеріалом у межах адаптивного формування системи навчальних ресурсів та побудувати на їх основі формальні засоби моделювання реакції користувачів з метою забезпечення самовдосконалення бази знань та підвищення рівня інтерактивності ЕНК.

На основі проведеного огляду методів оцінки рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами було показано, що дана оцінка неможлива без отримання математичної моделі, яка опише зв'язок рівня зацікавленості з реакцією користувача. Складність отримання математичної моделі зумовлена її розмірністю, багатокритеріальністю управління і невизначеністю ряду станів і, на сьогодні, вирішується за рахунок використання думки експертів або апріорної вимоги до вихідних матеріалів ЕНК.

У статті показано, що найбільш перспективним математичним апаратом для розробки системи визначення рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами є нечітка логіка. Застосування нечіткої логіки дає можливість будувати системи оцінки на базі природно-мовних

експертних висловлювань про причинно-наслідкові зв'язки між реакціями користувача та рівнем зацікавленості.

У даному випадку оцінка рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами пропонується на основі принципів лінгвістичності причини зацікавленості та параметрів реакції користувача на окремі елементи ЕНК, формування структури залежності «входи-вихід» у вигляді нечіткої бази знань, ієрархічності діагностичних знань та настроювання нечітких баз знань.

Для подальших досліджень автор ставить такі завдання:

1) аналіз основних методів визначення реакцій користувача на елементи ЕНК;

2) застосування методів, що аналогічні методам технічного діагностування, для задач визначення рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами;

3) проведення класифікації причин зацікавленості користувача навчальними матеріалами;

4) розробка загального алгоритму визначення рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами в комплексі формування адаптивних матеріалів ЕНК за умови нечіткої або неповної форми оцінки реакції користувача.

Розв'язання перерахованих вище завдань дозволить подолати труднощі, які виникають при побудові адаптованих ЕНК, і дозволять використовувати можливості застосування наукових положень і висновків дослідження у НП для формування адаптивних систем інформаційних навчальних ресурсів, які будуть мати властивість автоматичної зміни порядку та обсягу представлення матеріалів відповідно до рівня знань та характеру засвоєння навчального матеріалу користувачем.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Evidence-Based Educational Methods* / J. M. Daniel, W. M. Richard, D. R. Roger and others; Edited by J. M. Daniel and W.M. Richard. — Elsevier Science & Technology Books, 2004. — 408 p.

2. *Cristea A. Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems* / Cristea Alexandra, Aroyo Lora // Second International Conference, May 29–31, 2002, Málaga, Spain. — P. 122–132.

3. *Artamonov E. B. Concept of creating a software environment for automated text manipulation* // E. B. Artamonov, O. O. Zholdakov. — Scientific journal “Proceedings of the National Aviation University”. — К. : NAU. — 2010. — Вип. 3 (44). — P. 111–115.

4. *Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен* / Р. Дуда, П. Харт; пер. с англ. — М. : Мир, 1976. — 511 с.

5. *Козелецкий Ю. Психологическая теория решений* / Ю. Козелецкий. — М. : Прогресс, 1979. — 504 с.

6. *Ротштейн А. П. Прогнозирование надежности алгоритмических процессов при нечетких исходных данных* / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. — 1998. — №4. — С. 85–93.

7. *Литвиненко А. Е. Определение класса истинности логических формул методом направленного перебора* / А. Е. Литвиненко // Кибернетика и системный анализ. — 2000. — № 5. — С. 23–31.

8. *Осуга С. Обработка знаний* / С. Осуга; пер. с япон. — М. : Мир, 1989. — 292 с.

9. *Назаров А. В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем* / А. В. Назаров, А. И. Лоскутов. — СПб. : Наука и техника, 2003. — 394 с.

10. *Тененёв В. А. Гибридный генетический алгоритм с дополнительным обучением лидера* / В. А. Тененёв, Н. Б. Паклин // Интеллектуальные системы в производстве. — 2003. — № 2. — С. 181–206.

Стаття надійшла до редакції 29.11.2016

УДК 004.056 (045)

## ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ МЕТОДІВ СТЕГАНОАНАЛІЗУ

О. К. Юдін, д-р техн. наук, проф., Я. А. Симониченко

Національний авіаційний університет

e-mail: yaroslavsim@ukr.net

*У статті запропоновано та описано метод виявлення наявності прихованих каналів передачі інформації, утворених з використанням стеганографічної системи, на базі методів стеганографічного аналізу. Даний метод базується на виявленні наявності прихованого текстового повідомлення, вбудованого в цифрове зображення методом модифікації молодшого біту колірної компоненти моделі RGB, шляхом порівняння розподілу кількості 1-х бітів в умовних блоках бітових площин колірних компонентів цифрового зображення та кодів символів текстового повідомлення при їх двійковому представленні. Наведено результати дослідження описаного методу виявлення та перевірки наявності прихованого текстового повідомлення в цифровому зображенні з використанням утворених матриць умовних блоків колірних компонентів, а також, можливого апріорного визначення мови, що використовується в прихованому повідомленні.*

**Ключові слова:** стеганографічна система, стеганоконтейнер, стеганографічний аналіз.

*The article proposes and describes a method of identifying secure communication channels which have been formed with the use of a steganographic system on the basis of methods of the steganographic analysis. This method is based on identification hidden message built in the digital image using modifications of the least significant bit of the color component of the RGB model by comparing the distribution of the number of 1 bits in the conditional blocks of bit planes of the color components of the digital image and the character codes of text message when they submitted in binary representation. Listed the results of the research described method to detect and validate the presence of a hidden text message in digital image using the formed matrixes of conditional blocks of the color components, and also a priori language identification used in the hidden text message.*

**Keywords:** steganographic system, steganographic container, steganography analysis.

### Вступ

Широке використання інформаційних технологій (використання автоматизованих систем, систем електронного документообігу, електронних платежів та ін.) в діяльності держави та житті сучасної людини, призвело до необхідності забезпечення інформаційної безпеки та захисту інформації в інформаційному просторі [1]. Однією з сучасних технологій, що використовується для вирішення даного питання є стеганографія. Велика кількість стеганографічних засобів, які дозволяють приховувати інформацію та факт її подальшого передавання каналами зв'язку, зробили зазначену вище технологію поширеним методом захисту інформації.

Як наслідок — реалізація зазначених вище методів приховування інформації може виконуватися з метою організації захисту інформації або з метою організації прихованого витоку цінної інформації, з використання діючих інформа-

ційних систем, як на рівні державних установ та підприємств, так і громадянина. На сьогодні, розвиток методів стеганографічного аналізу є актуальним завданням. Реалізація стеганографічного аналізу дає можливість здійснювати дослідження інформаційного об'єкта з метою виявлення та встановлення факту наявності прихованої інформації.

### Постановка завдання

Реалізація методів стеганографічного захисту призводить до створення спеціальних стеганографічних систем. Під стеганографічною системою слід розуміти об'єднання методів і засобів, які використовуються для створення прихованого каналу передачі інформації [2]. Стеганографічна система виконує вбудовування контейнера із повідомленням в інформаційний об'єкт, його передавання стеганографічним каналом та декодування прихованого повідомлення. Найчастіше, з огляду на функціонал сучасного стегано-

графічного програмного забезпечення, прихованою інформацією є текстове повідомлення. Найчастіше як контейнер використовують цифрове зображення, у якому виконується вбудовування прихованого текстового повідомлення одним із стеганографічних методів.

Передавання цифрового зображення із прихованою інформацією може відбуватися, як мережею інформаційно-телекомунікаційної системи, так і людиною на носії інформації (карти пам'яті, флеш-пам'ять та ін.) у вигляді графічного файлу.

Для виявлення зазначеного вище каналу передачі інформації та факту наявності прихованого текстового повідомлення можуть використовуватися методи стеганографічного аналізу. Також, даний аналіз дає змогу виявити джерела повідомлення для подальшого його контролю в разі його протиправних дій або витоку інформації, що може завдати збитків. Наприклад, джерелом може бути адреса електронної пошти, з якої виконується передача зображення, або обліковий запис соціальної мережі, від імені якого були викладені цифрові зображення із вбудованою прихованою інформацією.

Таким чином, метою даної статті є реалізація запропонованого методу виявлення та перевірки наявності прихованих каналів передачі інформації з використанням цифрового зображення шляхом порівняння розподілу кількості 1-х бітів в умовних блоках бітових площин колірних компонентів зображення та кодів символів текстового повідомлення при їх двійковому представленні. На основі проведених досліджень буде визначено метод виявлення прихованого текстового повідомлення в цифровому зображенні з використанням утворених матриць умовних блоків колірних компонентів, а також, можливого апріорного визначення мови, що використовується в прихованому повідомленні.

### Розв'язання проблеми

З огляду на те, що як приховану інформацію використовують текстове повідомлення, було проведено аналіз розподілу кількості 1-х бітів (далі — РКБ) для кодів символів тексту англійської та російської мов.

Для представлення та зберігання інформації в пам'яті комп'ютера використовується двійковий спосіб кодування, що передбачає використання лише двох можливих значення бітів — «0» або «1».

Людина розрізняє символи за їх виглядом, а комп'ютер — за їх кодом. Кожен символ представляється 8-розрядним двійковим кодом (8 бітів). Кодування полягає в тому, що кожному символу відповідає унікальний двійковий код від

«0000 0000» до «1111 1111» або відповідний унікальний десятковий код від «0» до «255».

Міжнародним стандартом для кодування текстових символів та інформаційного обміну між користувачами комп'ютерів є таблиця ASCII.

Розглянемо використання таблиці ASCII на прикладі кодування текстового повідомлення англійською (латинськими символами таблиці) та російською мовами (символами російського алфавіту).

Як текст російською мовою оберемо повідомлення — «Национальный авиационный университет» та «National Aviation University» — для повідомлення англійською мовою.

Виконаємо відображення кодування символів перших слів обох повідомлень (табл. 1–2).

Таким чином, було отримано представлення частини повідомлення з використанням таблиці ASCII та їх значень у двійковому вигляді.

Виконаємо дослідження РКБ для кодів символів зазначених текстових повідомлень при їх двійковому представленні (табл. 3).

Таблиця 1

Кодування символів першого слова повідомлення російською мовою

Символ	ASCII код	Двійкове представлення ASCII коду
Н	205	1100 1101
а	224	1110 0000
ц	246	1111 0110
и	232	1110 1000
о	238	1110 1110
н	237	1110 1101
а	224	1110 0000
л	235	1110 1011
ь	252	1111 1100
н	237	1110 1101
ы	251	1111 1011
й	233	1110 1001

Таблиця 2

Кодування символів першого слова повідомлення англійською мовою

Символ	ASCII код	Двійкове представлення ASCII коду
N	78	0100 1110
a	97	0110 0001
t	116	0111 0100
i	105	0110 1001
o	111	0110 1111
n	110	0110 1110
a	97	0110 0001
l	108	0110 1100

Таблиця 3

Підрахунок бітів із значенням «1»

Символ	ASCII код	Двійкове представлення ASCII коду							
		1	1	0	0	1	1	0	1
Н	205	1	1	0	0	1	1	0	1
а	224	1	1	1	0	0	0	0	0
ц	246	1	1	1	1	0	1	1	0
и	232	1	1	1	0	1	0	0	0
о	238	1	1	1	0	1	1	1	0
н	237	1	1	1	0	1	1	0	1
а	224	1	1	1	0	0	0	0	0
л	235	1	1	1	0	1	0	1	1
ь	252	1	1	1	1	1	1	0	0
н	237	1	1	1	0	1	1	0	1
ы	251	1	1	1	1	1	0	1	1
й	233	1	1	1	0	1	0	0	1
<b>Номер бітового блоку</b>		<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
Кількість 1-х бітів в блоці		12	12	11	3	9	6	4	6

Для реалізації даного дослідження виконаємо такі дії:

– виконаємо представлення кожного символу частини повідомлення російської мови «Национальный» у відповідний двійковий код (по 8 бітів);

– виконаємо розбиття утвореного бітового представлення на блоки, що відповідають бітовим розрядам кожного двійкового представлення (від 0 до 7);

– виконаємо підрахунок кількості бітів із значенням «1» у кожному бітовому блоці.

Виконаємо графічне представлення РКБ для кодів символів зазначеної першої частини текстового повідомлення на російській мові, при її двійковому представленні (рис. 1, а), та повного текстового повідомлення (рис. 1, б).

Для більш детальнішого дослідження було обрано чотири повідомлення російською мовою довжиною 2829, 4455, 14362 та 71300 символів та виконано представлення їх РКБ (рис. 2, а).

Також, було обрано чотири повідомлення англійською мовою довжиною 1571, 2487, 4093 та 5433 символів та виконано дослідження вищезазначеного розподілу (рис. 2, б).

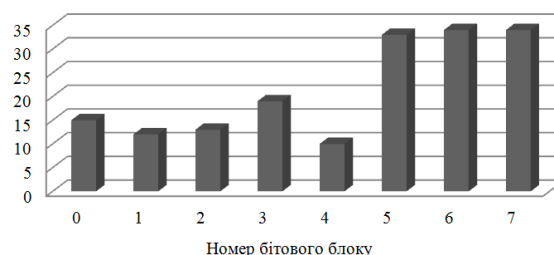
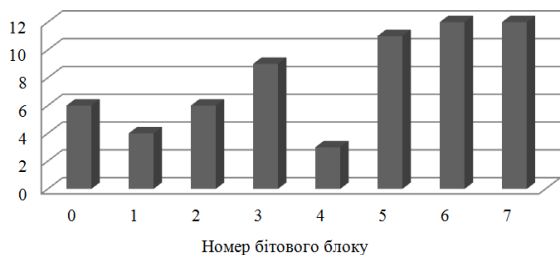


Рис. 1. Представлення РКБ першої частини повідомлення (а) та повного (б) повідомлення, де 0...7 — номер бітового блоку

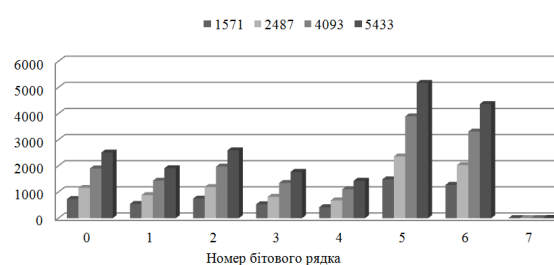
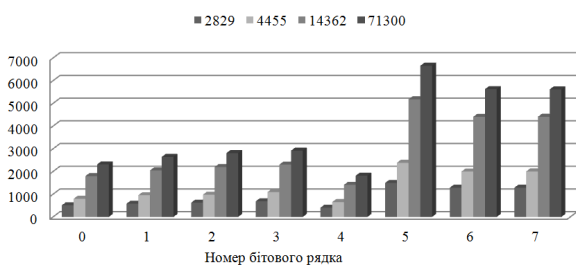


Рис. 2. Представлення РКБ повідомлень російською (а) та англійською (б) мовою, де 0...7 — номер бітового рядка

Після аналізу результатів досліджень РКБ для кодів символів обраних текстових повідомлень при їх двійковому представленні можна зробити висновок про наявність збереження певного співвідношення кількості 1-х бітів у бітових блоках кожного розряду. Зокрема наявність характерних максимальних та мінімальних кількостей 1-х бітів у бітових блоках, що відповідають розрядам двійкових кодів відповідних символів. При аналізі рис. 5, а можна зробити висновок, що харак-

терною особливістю для повідомлення російського тексту є зменшення кількості 1-х бітів у такій послідовності стовпців: 5, 6, 7, 3, 2, 1, 0 та 4. При аналізі рис. 5, б можна побачити, що характерною особливістю для повідомлення англійського тексту є зменшення кількості 1-х бітів у такій послідовності: 5, 6, 2, 0, 1, 3, 4 та 7.

Таким чином, при аналізі кожних 4-х повідомлень відповідних текстів дана властивість зберігається.

Для дослідження методу виявлення наявності прихованого текстового повідомлення було використано 24-х бітове растрове зображення. Збереження зображення відбувалося у BMP-форматі, оскільки він є оптимальнішим форматом при виконанні стеганоперетворення [3]. Вбудовування в зображення виконувалося методом модифікації молодшого біту в компоненті синього кольору при використанні колірної моделі RGB. Для кодування градацій кольору кожної компоненти моделі RGB використовується 8 бітів (загалом 24 біти для кодування 3-х кольорів компонент).

Для дослідження було обрано зображення розміром — 568×500 пікселів (рис. 3, а). Ступінь модифікації контейнера при вбудовуванні текстового повідомлення англійської мови до компоненти синього кольору становив 8, 16, 24 та 32 %.

Виконаємо видобування кожної колірної компоненти заповненого зображення колірної моделі RGB (рис. 3, б, в та з) та виконаємо дослідження бітових площин компоненти синього кольору зображення із 8 % заповненням на наявність прихованого повідомлення. Для цього виконаємо наступні дії (рис. 4):

– виконаємо перетворення матриці компоненти синього кольору зображення в вектор-стовпець, утвореного із значень градації кольору синьої компоненти, та переведемо значення вектора у двійковий код, за аналогією методу табл. 3 (отримаємо матрицю двійкового представлення, кожний стовпець якої відповідає бітовій площині);

– виконаємо розбиття кожного стовпчика бітової площини на вісім умовних блоків, що утворені шляхом підрахунку бітів із значенням «1» наступним чином: кожний умовний блок (0...7), розміром 1×8, буде містити значення кількості 1-х бітів відповідного стовпчика матриці двійкового представлення (0...7) із кроком зсуву «+8»: для 0-го блоку 0-ї бітової площини — елементи з індексами рядків 0, 8, 16, 24...; для 1-го блоку 0-ї бітової площини — елементи з індексами рядків 1, 9, 17, 25...; для 2-го блоку 0-ї бітової площини — елементи з індексами рядків 2, 10, 18, 26... і т. д.;

– отримаємо матрицю умовних блоків (далі — МУБ), розміром 8×8, стовпці якої будуть відповідати номеру бітової площини компоненти зображення, а рядки — номеру умовного блоку із підрахунком розподілу кількості 1-х бітів у кожному блоці.



Рис. 3. Зображення для приховування (а) повідомлення та його колірні компоненти (б — RED; в — GREEN; з — BLUE)

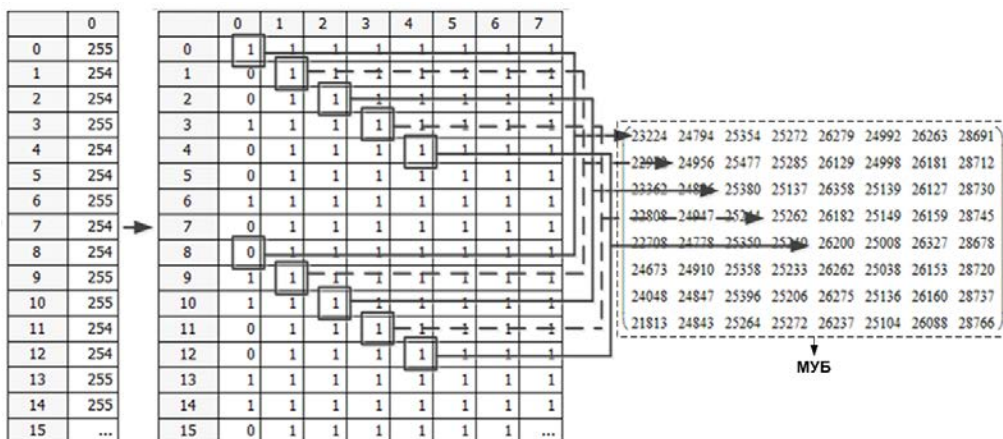


Рис. 4. Утворення матриці умовних блоків РКБ в бітових площинах синьої компоненти

Виконаємо графічне представлення значень утвореної матриці умовних блоків (рис. 5).

Як можна побачити із графічного представлення утворених матриць, наявні зміни у бітовій площині молодшого біту зображення із 8 % за-

повненням, оскільки значення РКБ у даних умовних блоках змінюється, приблизно, в межах від 21000 до 24000. Значення інших умовних блоків бітових площин з індексами від 1 до 7 відносно рівномірне: для 1-го умовного блоку в

межах 24000; для 2-го блоку — 25000; для 3-го блоку — 25000 і т.д. Розмах варіації, що визначається за формулою:  $R = X_{\max} - X_{\min}$ , де  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$  — відповідні мінімальне та максимальне значення РКБ в умовних блоках бітової площини молодшого біту зображення становить 2860. Для 1-го стовпця МУБ — 178, для 2-го стовпця МУБ — 233, для 3-го стовпця МУБ — 148 і т. д. Можна зробити висновок, що підвищене значення розмаху варіації для значень РБК в умовних блоках бітової площини молодшого біту синьої компоненти зображення свідчить про те, що дана бітова площина може містити приховане повідомлення. Для оцінювання та порівняння відповідності РКБ в бітових площинах зображення та кодів символів текстового повідомлення будемо виконувати їх порівняння на основі показника коефіцієнта кореляції Пірсона, що визначається за такою формулою:

$$r_{xy} = \frac{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{S_x^2} \times \sqrt{S_y^2}},$$

де  $\bar{x}, \bar{y}$  — середні значення вибірки  $x$  та  $y$ ;  $S$  — середньоквадратичне відхилення.

Даний коефіцієнт кореляції вимірюється в межах від  $-1,00$  до  $+1,00$ . Значення коефіцієнта кореляції « $-1,00$ » буде стверджувати про відсутність кореляції між величинами, « $0$ » — про нульову кореляцію, а « $+1,00$ » — про повну кореляцію величин. Тобто, чим ближче значення коефі-

цієнта кореляції до « $+1,00$ », тим сильніший зв'язок між двома досліджуваними величинами.

Виконаємо графічне відображення значень аналогічно утворених МУБ описаним вище методом для зображень із 16, 24 та 32 % заповненням (рис. 6–8). Графічне представлення утворених МУБ бітових площин синій компонент зображень із заповненням 16, 24 та 32 %, також дає можливість виявлення наявності змін у бітових площинах молодших бітів обраних кольорних компонентів зображень. Значення РКБ в умовних блоках бітової площини молодшого біту синьої компоненти зображення із 16 % заповненням змінюється, приблизно, в межах від 19000 до 24000.

У зображенні із 24 % заповненням — від 17000 до 25000. У зображенні із 32 % заповненням — від 15000 до 26000. Отже, у разі підвищення заповнення синьої компоненти зображення, виконується підвищення показника розмаху варіації для значень РБК у МУБ бітових площин зображення. Це свідчить про можливий факт використання стеганографічного перетворення в даних кольорних компонентах цифрового зображення.

Попередньо, можна зробити висновок про наявність у синій компоненті даного зображення прихованого текстового повідомлення із символами англійської мови. Виконаємо порівняння РКБ у бітових площинах синьої компоненти зображення із 8, 16, 24 та 32 % заповненням та кодів символів англійського текстового повідомлення при їх двійковому представленні на основі показника коефіцієнта кореляції Пірсона (табл. 4).

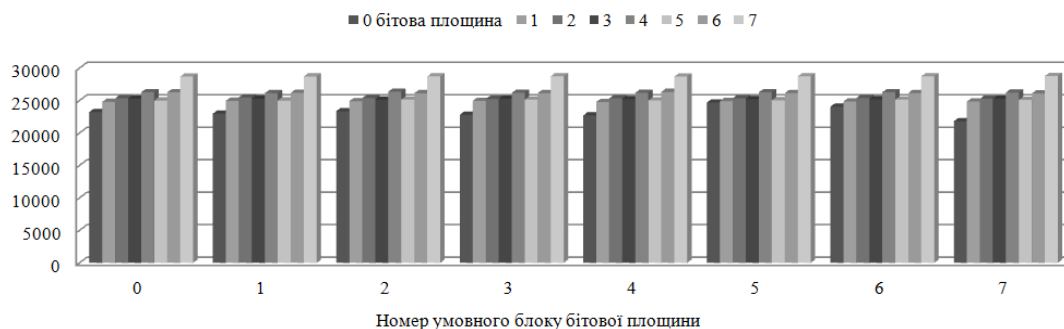


Рис. 5. Відображення значень утвореної МУБ для зображення із 8 % заповненням, де 0...7 — номер умовного блоку відповідної бітової площини

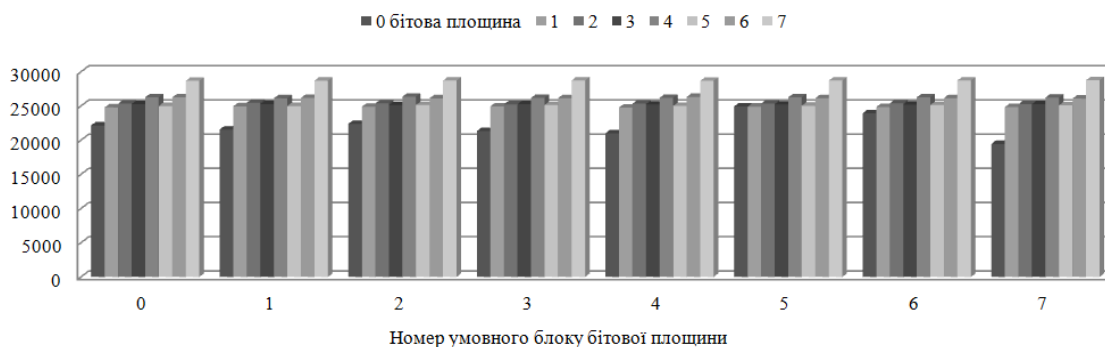


Рис. 6. Відображення значень утвореної МУБ для зображення із 16 % заповненням

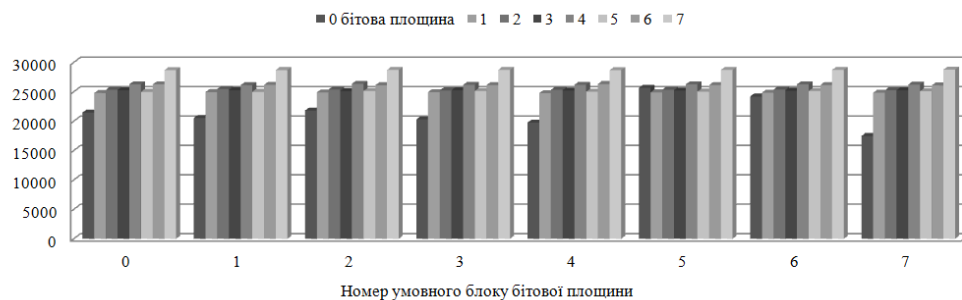


Рис. 7. Відображення значень утвореної МУБ для зображення із 24 % заповненням

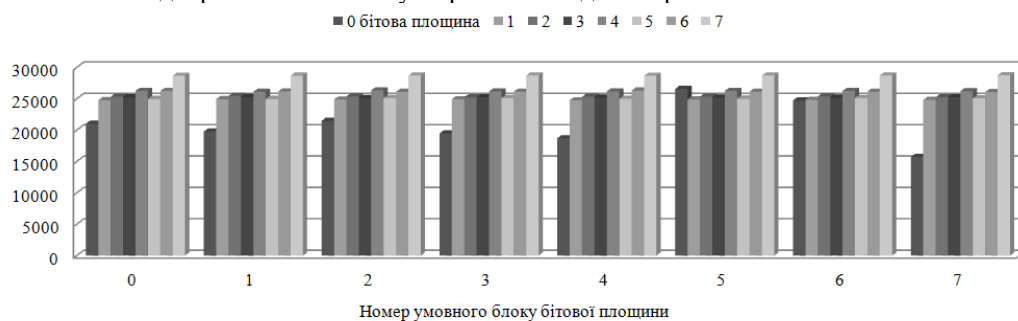


Рис. 8. Відображення значень утвореної МУБ для зображення із 32% заповненням

Таблиця 4

Значення коефіцієнта кореляції РКБ зображення та текстового повідомлення

Ступінь заповнення компоненти, %	Номер бітової площини синьої компоненти зображення							
	0	1	2	3	4	5	6	7
8	0,995235	0,1625518	0,3881639	-0,3856865	0,3643116	0,0122231	-0,029609	-0,1530243
16	0,9986903	0,1625518	0,3881639	-0,3856865	0,3643116	0,0122231	-0,029609	-0,1530243
24	0,9991113	0,1625518	0,3881639	-0,3856865	0,3643116	0,0122231	-0,029609	-0,1530243
32	0,9993043	0,1625518	0,3881639	-0,3856865	0,3643116	0,0122231	-0,029609	-0,1530243

Після визначення коефіцієнта кореляції РКБ МУБ для кожної бітової площини синьої компоненти зображення можна побачити, що нульова бітова площина має дуже високу кореляцію при її порівнянні з РКБ кодами символів англійського текстового повідомлення. При підвищенні ступеню заповнення стеганоконтейнера (8–32 %) виконується підвищення показника коефіцієнта кореляції (0,995235–0,999304), що дає змогу впевнитися в тому, що в бітовій площині молодшого біта синьої компоненти досліджуваних зображень наявне приховане текстове повідомлення із символами англійської мови. Показники коефіцієнтів кореляції інших РКБ бітових площин синьої компоненти мають дуже слабку кореляцію, що свідчить про відсутність прихованих повідомлень у даних бітових площинах.

Таким чином, була виявлена наявність прихованого повідомлення в бітових площинах молодших бітів синіх компонент наявних зображень із 8, 16, 24 та 32% заповненням, що свідчить про можливу наявність прихованого каналу передачі інформації.

### Висновок

Запропонований метод виявлення наявності прихованих каналів передачі інформації, утворених з використанням стеганографічної системи, дає можливість дослідження цифрового зображення на наявність прихованого текстового повідомлення, вбудованого методом модифікації молодшого біту колірної компоненти моделі RGB, та визначення мови прихованого повідомлення. Виявлення наявності прихованої інформації в зображенні виконується шляхом порівняння РКБ МУБ бітових площин колірних компонентів зображення та кодів символів повідомлення при їх двійковому представленні.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Юдін О. К. Інформаційна безпека держави / О. К. Юдін, В. М. Богуш. — К. : Консум, 2005. — 576 с.
2. Юдін О. К. Удосконалення стеганографічних методів на базі аналізу колірних моделей зображення / О. К. Юдін, Я. А. Симониченко // Наукоємні технології. — 2012. — №1 (13). — С. 70-75.
3. Коначович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Коначович, А. Ю. Пузыренко. — К. : МК-Пресс, 2006. — 288 с.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2016



УДК 004.056.5:35.078.3(02)

**ОСОБЛИВОСТІ АДМІНІСТРУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ДЕРЖАВНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ РЕСУРСАМИ**

**\*О. К. Юдін**, д-р техн. наук, проф.; **\*\*С. С. Бучик**, канд. техн. наук, доц.  
**\*Р. В. Зюбіна**, **\*Ю. С. Авраменко**

\*Національний авіаційний університет  
e-mail: kszj@ukr.net

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова  
e-mail: s\_stbu@ukr.net

*У статті вперше визначено мету, предмет, об'єкт, напрямок та завдання дослідження особливостей адміністрування та менеджменту в публічному управлінні державними інформаційними ресурсами. Уточнено визначення поняття «державні інформаційні ресурси», уточнено їх класифікацію, надано визначення поняття «публічна інформаційна система». Розроблено модель захисту системи менеджменту публічними державними інформаційними ресурсами на основі методу «подвійної трійки захисту». Таким чином, сформовано загальне наукове завдання, щодо визначення нормативно-правових, організаційних та, у тому числі, інженерно-технічних рішень, направлених на створення єдиної системи публічного менеджменту державними інформаційними ресурсами. Визначено науково-прикладний напрямок дослідження: організація системи публічного менеджменту органів державного управління на платформі сучасних методів та моделей побудови та підвищення ефективності системи адміністрування та публічного менеджменту державних інформаційних ресурсів.*

**Ключові слова:** публічний менеджмент; державні інформаційні ресурси; публічна інформація; публічні державні інформаційні ресурси; публічна інформаційна система; система публічного менеджменту.

*In the article a goal, a subject, an object, direction and tasks of research of features of administration and management in the public control of state informative resources are defined for the first time. Determination of the concept of state informative resources and their classification are specified; determination of the concept of the public informative system is given. A model of security of the management system by means of public state informative resources on the basis of the method of «double three of security» is worked out. Thus, a common scientific task is formed in relation to determination of normatively-legal and organizational decisions, including technical ones directed to the creation of the common system of public control of state informative resources. The scientifically-applied direction of research is defined. It consists in organization of the system of public management of organs of state administration on the platform of modern methods and models of construction and the rise of effectiveness of the system of administration and public management of the state informative resources.*

**Keywords:** public management; state informative resources; public information; public state informative resources; public informative system; system of public management.

**Вступ**

Соціально-економічний та політичний рівень провідної країни світу, характеризується якісними показниками розвитку та впровадження нових концепцій, методів і моделей процесів адміністрування та менеджменту державного сектора управління. Інформаційне суспільство країни та міжрегіональні комунікації різних видів потребують з одного боку, чіткого законодавчого та нормативно-правового фіксування управлінських дій органів державної влади, а з другого — гнучкої організації та динамічності менеджменту в публічному управлінні [1–3].

Національна безпека і оборона держави, стабільний та безпечний розвиток сучасних комунікаційних відносин в інформаційному суспільстві, вільне використання і вільний доступ до інформаційних ресурсів країни стає, ще більш актуальним питанням у період зовнішньої агресії з

боку інших країн. Сукупність політичних, економічних, військових і соціальних рішень органів державної влади, залежить від спільного тактичного та стратегічного використання єдиних концептуальних підходів до процесів адміністрування та менеджменту державними інформаційними ресурсами (ДІР).

Нормативно-правова база держави, повинна чітко визначати стратегію і концептуальні кроки в забезпеченні національної безпеки та безпосередньо такі як: удосконалення державного регулювання і розвитку інформаційної сфери шляхом створення нормативно-правових передумов для формування системи (тактичного/стратегічного) адміністрування та менеджменту в сфері ДІР.

**Актуальність дослідження**

Поняття «публічне адміністрування», «публічний менеджмент» в нашій державі останні роки набули широкого розповсюдження. Вони

передбачають надання адміністративних послуг світового рівня шляхом упровадження в практику діяльності принципів демократичного управління. В зв'язку з чим, «публічне адміністрування» та «публічний менеджмент» є системним явищем у суспільстві [4, 5]. Таким чином, ми приходимо до висновку у необхідності впровадження в систему державних процесів спеціалізованих організаційних механізмів та принципів публічного менеджменту (управління), що і зумовлює актуальність дослідження.

Розглядаючи поняття державні інформаційні ресурси (ДІР), а саме, представлення ДІР як складової національної безпеки країни [6, 7], виникає необхідність організації та забезпечення не тільки процесів захисту ДІР на рівні держави, а і питання ефективного управління ними. Досвід провідних держав показує, що об'єктом державного управління є процеси досягнення національних цілей (або національних інтересів), а також встановлених тактичних та стратегічних завдань через державні органи управління і виконавчої влади, різні класи міжвідомчих організацій.

Зрозуміло, що в свою чергу державні установи містять різні класи ДІР та повинні забезпечити їх зберігання, обробку, розповсюдження та висвітлення в інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС) публічного або спеціального призначення. Зазначені процеси адміністрування та менеджменту в сфері використання ДІР є складовою національної безпеки держави.

**Таким чином, виникає актуальний предмет дослідження**, а саме необхідність наукового обґрунтування процесів зберігання, обробки, розповсюдження та висвітлення інформаційних ресурсів, забезпечення якісних управлінських рішень та досягнення ефективної системи публічного менеджменту в сфері державних інформаційних ресурсів.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Аналізуючи сучасний стан нормативно-правового забезпечення, сучасних досліджень у зазначеній сфері, можна зупинитись на більш прийнятних з точки зору формування системи державного управління та сфери забезпечення і використання ДІР визначень понять «адміністрування та менеджмент в публічному управлінні». Дані поняття висвітлюються через призму декількох поєднаних напрямків.

**Перший напрям**, необхідність наявно-сформованого в країні єдиного державного апарату (ЄДА), тобто: визначена політика і завдання в зазначеній сфері; нормативно-правова і законодавча база; перелік процесів і процедур галузі;

фіксовані організаційні системи та підсистеми управління або впливу; кадрове забезпечення за фахом тощо. ЄДА повинен утримуватися за рахунок державного бюджету, а також фіксуватися законодавчою та нормативно-правовою базою країни, як відповідний орган управління виконавчої гілки влади, а також консультант або координатор взаємодії з іншими міжгалузевими установами.

**Другий напрям**, упровадження та забезпечення реальної системи державного управління, що стосується певного стандартного або/чи динамічного переліку дій (заходів, процедур) органу виконавчої влади, що сформовані політикою й переліком актуальних завдань з урахуванням надання якісних публічних послуг сфери діяльності визначеної гілки влади.

Значний внесок у розвиток нормативно-правового, організаційного забезпечення, а також у розробку сучасних методів і моделей адміністрування та менеджменту сфери публічного управління державними інформаційними ресурсами внесли: І. В. Арістова, А. М. Астахов, А. І. Марущак, В. С. Загорський, О. Ю. Оболенський, С. О. Борисевич, С. М. Коник, Ю. В. Ковбасюк, В. П. Трощинський, М. М. Білинська, О. М. Ястремська, Л. О. Мажник та ін.

#### **Мета статті**

Метою статті є визначення особливостей адміністрування та менеджменту в публічному управлінні державними інформаційними ресурсами, а саме: мета, об'єкт, предмет, напрямки та завдання дослідження.

#### **Виклад основного матеріалу**

##### *Напрямок та завдання досліджень*

Аналізуючи останні дослідження та публікації [1–5], проведені авторами досліджень у сфері захисту державних інформаційних ресурсів [6–11], можна сформулювати *мету*, *об'єкт* та *предмет* дослідження публічного менеджменту державними інформаційними ресурсами таким чином.

**Метою дослідження** є аналіз та розробка сучасних методів і моделей, а також концептуальних підходів до адміністрування та менеджменту сфери публічного управління українським сегментом державних інформаційних ресурсів.

**Об'єкт дослідження** — процеси адміністрування та менеджменту в публічному управлінні з метою формування, прийняття та виконання якісних управлінських рішень у сфері державних інформаційних ресурсів.

**Предмет дослідження** — сучасні методи і моделі адміністрування та менеджменту в публічному управлінні українським сегментом державних інформаційних ресурсів.

У розрізі проблем, що виникають у системі організації ДІР, постає актуальне питання проведення якісної адміністративної діяльності для досягнення поставлених цілей встановлених державною політикою з погляду публічного управління та ефективного менеджменту у сфері ДІР.

Особливості трансформування публічного управління в українському суспільстві розкрито в праці [5] і може бути адаптоване крізь систему менеджменту інформаційної безпеки, яка регламентується більшістю міжнародних стандартів і має замкнутий цикл управління — етапи реалізації моделі «Plan-Do-Check-Act» (PDCA—цикл Шухарта—Демінга—планування—реалізація—перевірка—дія) [12].

У такому зв'язку, ці особливості можуть бути розкриті з урахуванням публічного управління ДІР так.

1. Поява у публічному секторі професійних керівників та центрального органу влади, відповідальних за результат у сфері зберігання, обробки, розповсюдження та висвітлення в інформаційно-комунікаційних системах публічного або спеціального призначення ДІР. З точки зору створення системи публічного менеджменту ДІР, постає завдання прийняття на публічну службу висококваліфікованих кадрів, які мають специфічні знання щодо управління не тільки в організаційних системах різних класів, але і можуть забезпечити в першу чергу доступність до ДІР для громадськості, яка виконує функцію своєрідного контролю за діяльністю публічних службовців.

2. Система управління повинна мати орієнтацію на результат з точки зору надання якісних послуг користувачам ресурсу, замість тільки суворого дотримання стандартів та процедур. З точки зору створення системи публічного менеджменту ДІР, постає базове завдання публічності використання інформаційного середовища та його ресурсів — пошуку оптимального шляху забезпечення доступності, конфіденційності, цілісності ДІР (як базових властивостей інформації), а також оптимізація переліку ресурсів до яких забезпечується публічний доступ. Громадськості повинні надаватися можливості здійснювати (вносити) певні зміни до процедур і процесів надання якісних послуг (контрольована зміна цілісності інформації, економічні або технічні корекції послуги тощо).

3. Необхідність наявних впроваджених стандартів, критеріїв та індикаторів ефективності використання ДІР та послуг. З точки зору створення системи публічного менеджменту ДІР, автори повинні наголосити на певне завдання управління ДІР — використання загальноприйнятих у євро-

пейських державах стандартів менеджменту інформаційної безпеки серії ISO 2700x щодо ДІР, здійснення постійного моніторингу даного процесу, впровадження процесного підходу на основі теорії ризиків.

4. Зміна кількості одиниць організаційних структур публічного сектору (або їх оптимізація). З точки зору створення системи публічного менеджменту ДІР, з цього приводу, постає завдання децентралізації системи менеджменту ДІР та системи відповідальності на відповідних її рівнях.

5. Необхідна поява у публічному секторі елементів конкуренції (зовнішні підряди, тендерні процедури тощо). З погляду створення системи публічного менеджменту ДІР, постає ще одне завдання щодо залучення на конкурентній основі висококваліфікованих кадрів, а також їх залучення до створення, обробки та захисту ДІР, як державних так і приватних структур.

6. Реалізація процесів адаптації управлінських інструментів приватного сектору з урахуванням специфіки публічного сектору. З точки зору створення системи публічного менеджменту ДІР, може бути встановлено наступне завдання — вироблення та застосування єдиних підходів у здійсненні менеджменту ДІР як приватного, так і державного сектору, використання єдиних стандартів та критеріїв оцінки ефективності.

7. Дисципліна та раціональне використання наявних ресурсів ДІР, повинна бути невід'ємною умовою публічного менеджменту. Завдання, що постає відповідно зазначеному принципу необхідність пошуку шляхів оптимального та раціонального використання не тільки засобів обробки, створення, передачі, захисту ДІР, але і встановлення системи публічного (з боку державних структур) контролю за кількістю та якістю доступних ДІР та їх послуг.

*Науково-практичний напрям наукових досліджень*

На даний час в Україні, прийнятим на законодавчому рівні, є тільки поняття **публічна служба** — діяльність на державних політичних посадах, професійна діяльність суддів, прокурорів, військова служба, альтернативна (невійськова) служба, дипломатична служба, інша державна служба, служба в органах влади Автономної Республіки Крим, органах місцевого самоврядування [13]. Також, чинним є Закон України «Про доступ до **публічної інформації**», який визначає порядок здійснення та забезпечення права кожного на доступ до інформації, що знаходиться у володінні суб'єктів владних повноважень, інших розпорядників публічної інформації, визначених цим Законом, та інформації, що становить суспільний інтерес [14].

Відповідно з цим законом **публічна інформація** — це відображена та задокументована будь-якими засобами та на будь-яких носіях інформація, що була отримана або створена в процесі виконання суб'єктами владних повноважень своїх обов'язків, передбачених чинним законодавством, або яка знаходиться у володінні суб'єктів владних повноважень, інших розпорядників публічної інформації, визначених цим Законом [14].

При цьому доступ до інформації забезпечується шляхом:

1) систематичного та оперативного оприлюднення інформації: в офіційних друкованих виданнях; на офіційних веб-сайтах у мережі Інтернет; на єдиному державному веб-порталі відкритих даних; на інформаційних стендах; будь-яким іншим способом;

2) надання інформації за запитами на інформацію.

Також виходячи із визначення «публічна інформація», впливає необхідність здійснення управління нею, що в свою чергу повинно підпадати під дію поняття публічне управління в наступному розумінні та послідовності:

➤ публічне управління (публічний менеджмент) —>;

➤ публічне управління (публічний менеджмент ДІР) —>;

➤ організація доступу до публічної інформації та ДІР через:

– офіційні (державні або приватні) друковані видання;

– офіційні (державні або приватні) веб-сайти в мережі Інтернет;

– шляхом доступу до інформаційних систем (наприклад, до Єдиного державного реєстру судових рішень (рис. 1);

– єдиної системи реєстрів Національного агентства з питань запобігання корупції до складу яких входить: Єдиний державний реєстр декларацій осіб, уповноважених на виконання функцій держави або місцевого самоврядування (рис. 2) та Єдиний державний реєстр осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення (рис. 3); Єдиного державного реєстру нормативно-правових актів (рис. 4) і та ін.

Рис. 1. Єдиний державний реєстр судових рішень (<http://www.reyestr.court.gov.ua/>)

Рис. 2. Єдиний державний реєстр декларацій осіб, уповноважених на виконання функцій держави або місцевого самоврядування (<https://public.nazk.gov.ua/>)

## Єдиний державний реєстр осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення

Національним агентством з питань запобігання корупції здійснюються заходи щодо початку ведення Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення.

Національним агентством з питань запобігання корупції здійснюються заходи щодо початку ведення Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення.

Наразі повноваження щодо надання відомостей з Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні правопорушення, здійснюються Міністерством юстиції України (пункт 3 постанови Кабінету Міністрів України від 25 березня 2015 року № 171).

Внесення інформації до Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення, та надання відомостей з нього про юридичну особу здійснюватиметься Національним агентством після початку ведення ним цього реєстру.

Рис. 3. Єдиний державний реєстр осіб, які вчинили корупційні або пов'язані з корупцією правопорушення (<https://nazk.gov.ua/yedynyy-derzhavnyy-reyestr-osib-yaki-vchynuly-korupciyni-abo-povyazani-z-korupciyeyu>)

Головна сторінка	Інформаційний фонд
Пошук	Загальна кількість нормативно-правових актів у Інформаційному фонді Реєстру на 04.12.2016 - 83863
Класифікатори НПА	Кількість нормативно-правових актів, внесених до Інформаційного фонду Реєстру на 02.12.2016 - 12
Видання НПА	
Види НПА	
Періоди прийняття	
Ключові слова	
Опублікування	
Нові надходження	
Ваш бюджет	
Про Реєстр НПА	
ЩО ТАКЕ ЄДИНИЙ ДЕРЖАВНИЙ РЕЄСТР НПА	Реєстр - це автоматизована система збирання, наповнення та опрацювання актів законодавства
ЯКА ІНФОРМАЦІЯ ВКЛЮЧАЄТЬСЯ ДО РЕЄСТРУ	Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 23.04.2001 № 376 до складу Реєстру включються: нормативно-правові акти, видані починаючи з дня прийняття Акта проголошення незалежності України (24 серпня 1991 р.) - чинні, опубліковані та неопубліковані, у тому числі з обмежувальними графіками: <ul style="list-style-type: none"> <li>- закони України;</li> <li>- постанови Верховної Ради України;</li> <li>- укази і розпорядження Президента України;</li> <li>- директи, постанови і розпорядження Кабінету Міністрів України;</li> <li>- рішення Вищого Конституційного Суду України;</li> <li>- зареєстровані в Мінюсти нормативно-правові акти міністерств, інших центральних органів виконавчої влади, органів господарського управління та контролю, Національного банку;</li> <li>- міжнародні договори України;</li> </ul> нормативно-правові акти, видані до прийняття Акта проголошення незалежності України (24 серпня 1991 р.), що не втратили чинності та не суперечать законодавству тимчасової нормативно-правові акти з терміном дії рік і більше та з терміном дії менше року в разі наступного його продовження.
ЩО ТАКЕ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ФОНД РЕЄСТРУ	Це спеціальна комп'ютерна інформаційна система, в якій зберігаються копії еталонних текстів нормативно-правових актів і яка призначена для надання інформації широкому колу користувачів.
ЗВІДКИ НАХОДЯТЬСЯ ДОКУМЕНТИ ДО ІНФОРМАЦІЙНОГО ФОНДУ РЕЄСТРУ	До Інформаційного фонду вносяться копії еталонних текстів нормативно-правових актів з Еталонного фонду Реєстру, який формується та зберігається у Міністерстві юстиції України.
ЩО ТРЕБА ЗРОБИТИ, ЩОБ ОДЕРЖАТИ ІНФОРМАЦІЮ З РЕЄСТРУ	Уважно вивчити основні положення Інструкції про порядок та умови одержання інформації з Інформаційного фонду Реєстру, затвердженої наказом Міністерства юстиції України від 29.06.2002 № 575, вибрати для себе форму одержання інформації з Інформаційного фонду Реєстру: <ul style="list-style-type: none"> <li>- у вигляді копій еталонного файлу;</li> <li>- шляхом безопорядкового доступу до Інформаційного фонду Реєстру та звернутися до Бюро/підрозділу Адміністратора Реєстру із відповідним запитом.</li> </ul>
ДЕРЖАТЕЛЬ РЕЄСТРУ - МІНІСТЕРСТВО ЮСТИЦІЇ УКРАЇНИ	Держатель Реєстру - Мінюст <ul style="list-style-type: none"> <li>- розробляє організаційні та методологічні підходи ведення Реєстру;</li> <li>- приймає рішення про включення актів до Реєстру;</li> <li>- здійснює опрацювання та внесення актів до еталонного фонду;</li> <li>- відслідковує за автентичністю та контрольним станом еталонних текстів.</li> </ul>
АДМІНІСТРАТОРИ РЕЄСТРУ	Адміністратор обліку користувачів та контролю доступу до Реєстру (Адміністратор обліку) - державне підприємство "Інформаційний центр" Міністерства юстиції України <ul style="list-style-type: none"> <li>- здійснює обслуговування і облік користувачів Реєстру;</li> <li>- забезпечує реєстрацію користувачів Реєстру і ведення бази даних цих користувачів;</li> <li>- організовує контроль доступу до Реєстру та систему контролю за розрахунками з користувачами Реєстру;</li> <li>- Адміністратор технічної підтримки всієї системи Реєстру та доступу до Реєстру (Технічний адміністратор) - інформаційно-аналітичний центр "ІПА";</li> <li>- здійснює опрацювання і розробку програмно-інформаційного забезпечення Реєстру;</li> <li>- проводить технічну підготовку текстів НПА;</li> <li>- формує і підтримує Інформаційний фонд Реєстру;</li> <li>- здійснює технічну підтримку користувачів Реєстру.</li> </ul>

Рис. 4. Єдиний державний реєстр нормативно-правових актів (<http://www.reestrnpa.gov.ua/REESTR/RNAweb.nsf/wpage/FirstPage?OpenDocument>)

Інформація з інформаційного фонду представлених Реєстрів є публічною інформацією у формі відкритих даних, що підлягає оприлюдненню і регулярному оновленню відповідно до Закону України «Про доступ до публічної інформації».

Доступ до інформації з інформаційного фонду даних Реєстрів, є вільним та безоплатним.

Про це чітко вказано в роз'ясненнях Постанови Пленуму Вищого Адміністративного суду України від 29 вересня 2016 р. №10 «Про практику застосування адміністративними судами законодавства про доступ до публічної інформації» [15].

Перелік Єдиних та державних реєстрів приведено на веб-порталі Міністерства юстиції України (рис. 5), режим доступу:

<http://old.minjust.gov.ua/22253>. Виходячи з визначення ДІР, під якими згідно з Законом України від 23 лютого 2006 р. № 3475-IV-ВР//ВВР «Про

Державну службу спеціального зв'язку та захисту інформації України», розуміється систематизована інформація, що є доступною за допомогою інформаційних технологій, право на володіння, використання або розпорядження якою належить державним органам, військовим формуванням, утвореним відповідно до законів України, державним підприємствам, установам та організаціям, а також інформація, створення якої передбачено законодавством та яка обробляється фізичними або юридичними особами відповідно до наданих їм повноважень суб'єктами владних повноважень, усі інформаційні ресурси які містяться в Єдиних та державних реєстрах є державними і підлягають захисту.

Також дані реєстри повинні бути представлені та зареєстровані в гілці українського сегмента ідентифікаторів об'єктів, відповідно до «Поло-

ження про порядок формування простору ідентифікаційних кодів об'єктів Українського сегмента світового простору ідентифікаторів об'єктів» [16]. Структурно-логічна модель організації іє-

рархічної гілки кодів-вузлів українського сегмента ідентифікаторів об'єктів державних органів (після визначеної гілки gov(1)) автором представлено в праці [8, 9] (рис. 6).

### Єдині та державні реєстри

- ЄДИНІ ТА ДЕРЖАВНІ РЕЄСТРИ
  - Держателями Єдиних та Державних реєстрів є:
    - [Міністерство юстиції України](#)
    - [Державна реєстраційна служба України](#)
    - [Державна виконавча служба України](#)
    - [Державна служба з питань захисту персональних даних України](#)

Єдині та Державні реєстри інформаційної мережі Міністерства юстиції України створені та функціонують відповідно до законодавства України, що складають закони України, акти Кабінету Міністрів України, відомчі нормативно-правові акти, а також інші документи правового характеру.

- Держатель - Міністерство юстиції України
  - [Єдиний державний реєстр нормативно-правових актів](#)
  - [Реєстр спеціальних бланків документів інформаційної системи Міністерства юстиції України](#)
  - [Єдиний реєстр спеціальних бланків нотаріальних документів](#)
  - [Єдиний реєстр нотаріусів України](#)
  - [Спадковий реєстр](#)
  - [Єдиний реєстр довіреностей](#)
  - [Державний реєстр обтяжень рухомого майна](#)
  - [Єдиний реєстр громадських формувань](#)
  - [Реєстр атестованих судових експертів](#)
  - [Реєстр методик проведення судових експертиз](#)
  - [Єдиний державний реєстр осіб, які вчинили корупційні правопорушення](#)
  - [Єдиний реєстр підприємств, щодо яких порушено провадження у справі про банкрутство](#)
  - [Відомості з Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні правопорушення](#)
- Держатель - Державна виконавча служба України
  - [Єдиний державний реєстр виконавчих проваджень](#)
- Держатель - Державна реєстраційна служба України
  - [Реєстр громадських об'єднань](#)
  - [Державний реєстр друкованих засобів масової інформації та інформаційних агентств як суб'єктів інформаційної діяльності](#)
  - [Державний реєстр актів цивільного стану громадян](#)
  - [Державний реєстр речових прав на нерухоме майно](#)
- Держатель - Державна служба України з питань захисту персональних даних
  - [Державний реєстр баз персональних даних](#)

Рис. 5. Перелік Єдиних та державних реєстрів України

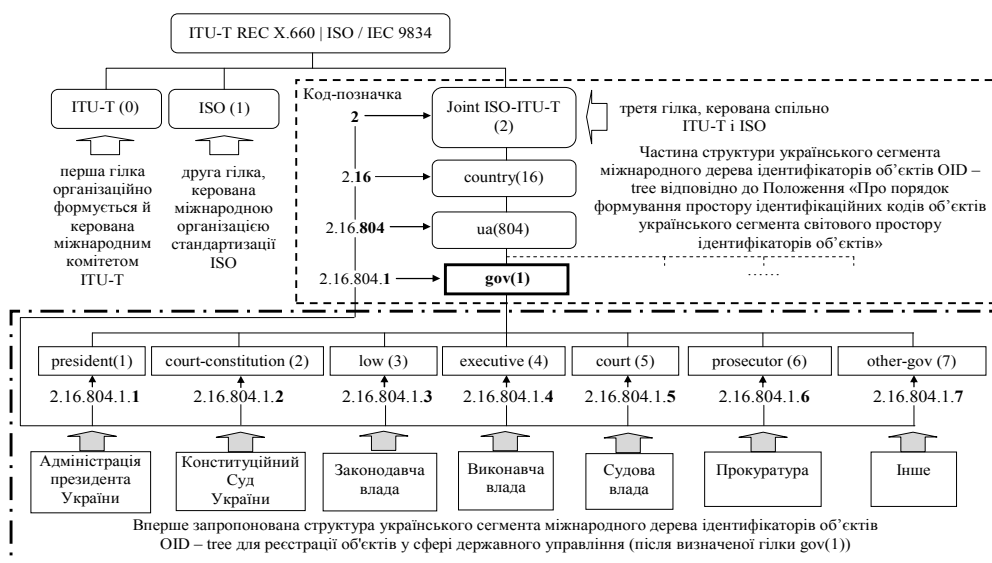


Рис. 6. Структурно-логічна модель організації ієрархічної гілки кодів-вузлів українського сегмента ідентифікаторів об'єктів державних органів (після визначеної гілки gov(1))

Розширення подібної структурно-логічної моделі повинно включити всі ДІР, які мають відношення до публічної інформації, що в свою чергу спростить доступ до них і узагальнить всі ресурси в одне ціле. Це надасть змогу здійснювати централізоване управління публічними ДІР, включаючи і питання їх захисту в єдиній системі. Управління публічними ДІР повинно мати замкнений цикл (реалізовано за моделлю «Plan-Do-Check-Act»), що надасть змогу здійснювати планування (стратегічне, тактичне) щодо створення

системи публічного менеджменту ДІР, реалізацію та впровадження системи публічного менеджменту ДІР, перевірку (оцінка ефективності та продуктивності системи публічного менеджменту ДІР), дію (виконання превентивних і коригувальних дій, постійне поліпшення системи публічного менеджменту ДІР) (рис. 7). Причому основою захисту даної системи публічного менеджменту ДІР пропонується метод «подвійної трійки захисту», що запропонований авторами в праці [6] та більш детально розкритий у праці [9].

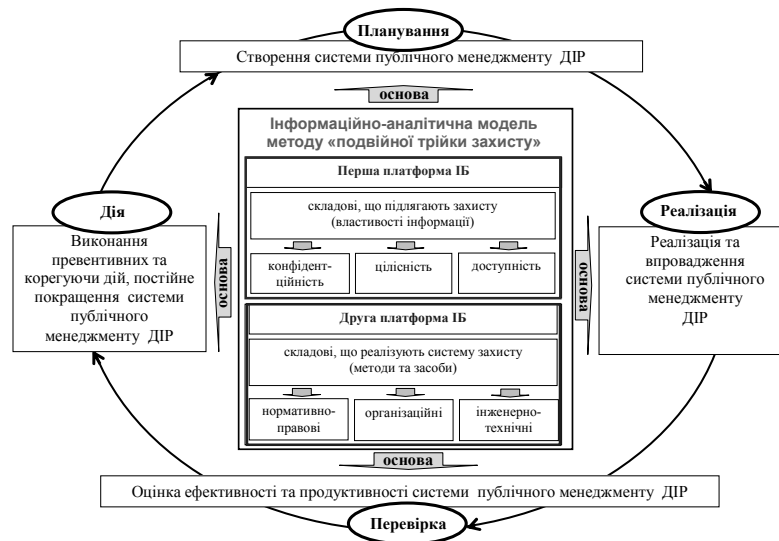


Рис. 7. Модель захисту системи менеджменту публічними ДІР на основі методу «подвійної трійки захисту»

Важливим також є визначення класифікації ДІР та уточнення поняття ДІР. Авторами в [6] приведено удосконалене визначення ДІР, а саме: *державні інформаційні ресурси (state informative resources)* – це результати інтелектуальної та практичної діяльності, що сформовані в усіх сферах життєдіяльності людини, суспільства і держави, зафіксовані і систематизовані на відповідних матеріальних носіях інформації, як окремі документи і масиви документів, банки і бази даних та знань, усі види архівів і бібліотек, музейні фонди, інформаційні ресурси які обробляються й передаються у інформаційних системах державного і/або загального призначення, інші ресурси, що містять дані, відомості і знання, які є об’єктом права власності держави незалежно від форми власності на час їх створення і мають споживчу цінність, а також такі, що призначені для розвитку і задоволення потреб громадян, суспільства, держави та підлягають захисту згідно визначеної політики безпеки й чинного законодавства. У свою чергу в праці [10] приведена класифікація ДІР (рис. 8), яка впливає з визначення ДІР, яке наведено вище.

Таким чином необхідно додати в четвертий пункт класифікації державних інформаційних

ресурсів – публічні інформаційні системи (на рис. 8 виділено жирним кольором та окреслено пунктирною лінією).

У зв’язку з чим також виникає необхідність в уточненні поняття ДІР, яке надали автори в праці [6]. Уточнене визначення ДІР має бути представлено наступним чином: *державні інформаційні ресурси (state informative resources)* — це результат інтелектуальної та практичної діяльності, що сформовані в усіх сферах життєдіяльності людини, суспільства і держави, зафіксовані і систематизовані на відповідних матеріальних носіях інформації, як окремі документи і масиви документів, банки і бази даних та знань, усі види архівів і бібліотек, музейні фонди, інформаційні ресурси які обробляються й передаються у інформаційних системах державного і/або загального та **публічного** призначення, інші ресурси, що містять дані, відомості і знання, які є об’єктом права власності держави незалежно від форми власності на час їх створення і мають споживчу цінність, а також такі, що призначені для розвитку і задоволення потреб громадян, суспільства, держави та підлягають захисту згідно визначеної політики безпеки й чинного законодавства.

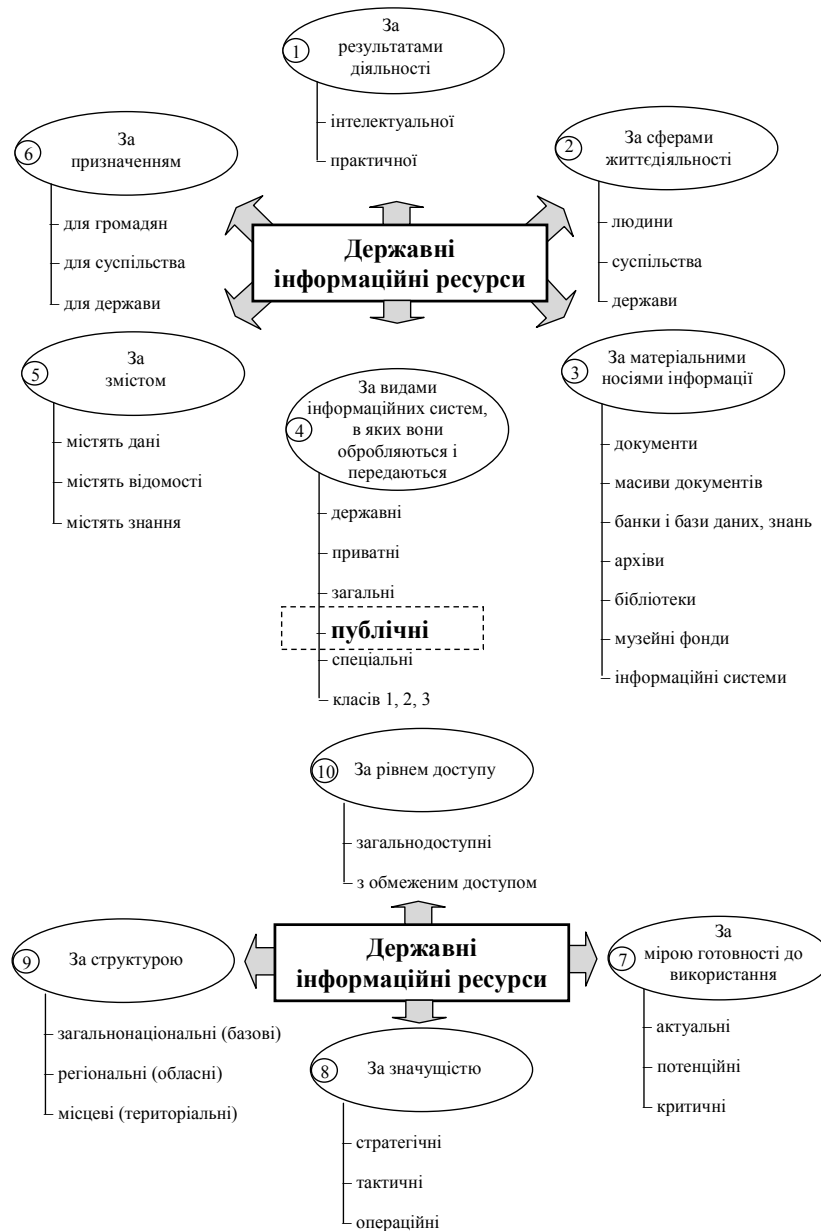


Рис. 8. Класифікація державних інформаційних ресурсів

Звідси випливає необхідність визначення поняття **публічні інформаційні системи**.

Відповідно до НД ТЗІ 3.7-003-2005 «Порядок проведення робіт із створення комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі» [17] *інформаційна система* — організаційно-технічна система, що реалізує технологію обробки інформації за допомогою засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення.

Виходячи із визначення, яке вже було приведено раніше згідно Закону України «Про доступ до публічної інформації» *публічна інформація* — це відображена та задокументована будь-якими засобами та на будь-яких носіях інформація, що була отримана або створена в процесі виконання

суб'єктами владних повноважень своїх обов'язків, передбачених чинним законодавством, або яка знаходиться у володінні суб'єктів владних повноважень, інших розпорядників публічної інформації, визначених цим Законом. Таким чином можна запропонувати наступне визначення поняття *публічна інформаційна система*.

*Публічна інформаційна система* — організаційно-технічна система, що реалізує технологію обробки публічної інформації, визначеної згідно Закону України «Про доступ до публічної інформації», за допомогою засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення.

Або більш розширене визначення.



**Публічна інформаційна система** — організаційно-технічна система, що реалізує технологію обробки публічної інформації, яка відображена та задокументована будь-якими засобами та на будь-яких носіях інформація, що була отримана або створена в процесі виконання суб'єктами владних повноважень своїх обов'язків, передбачених чинним законодавством, або яка знаходиться у володінні суб'єктів владних повноважень, інших розпорядників публічної інформації, визначених згідно Закону України «Про доступ до публічної інформації», за допомогою засобів обчислювальної техніки та програмного забезпечення.

Важливим також є питання визначення інформаційних ресурсів, які саме повинні бути публічними, тобто відносяться до публічної інформації у формі відкритих даних, що підлягає оприлюдненню і регулярному оновленню відповідно до Закону України «Про доступ до публічної інформації».

Дане питання має бути чітко визначено через призму побудови системи ризиків віднесення інформаційних ресурсів до публічних. Виникає необхідність відповідно до Закону України здійснювати чітке розмежування між ДІР, які є публічними і ДІР, які містять конфіденційну, таємну або службову інформацію. Закон України «Про доступ до публічної інформації» не дає можливість чітко це визначити. Але в цілому згідно з даним Законом обмеження доступу до інформації здійснюється при дотриманні таких вимог:

1) виключно в інтересах національної безпеки, територіальної цілісності або громадського порядку з метою запобігання заворушенням чи злочинам, для охорони здоров'я населення, для захисту репутації або прав інших людей, для запобігання розголошенню інформації, одержаної конфіденційно, або для підтримання авторитету і неупередженості правосуддя;

2) розголошення інформації може завдати істотної шкоди цим інтересам;

3) шкода від оприлюднення такої інформації переважає суспільний інтерес в її отриманні.

Також відповідно до даного Закону визначені поняття конфіденційної, таємної і службової інформації, як наведені нижче.

**Конфіденційна інформація** — інформація, доступ до якої обмежено фізичною або юридичною особою, крім суб'єктів владних повноважень, та яка може поширюватися у визначеному ними порядку за їхнім бажанням відповідно до передбачених ними умов. Не може бути віднесена до конфіденційної інформація:

– інформація суб'єктів владних повноважень — органів державної влади, інші державних орга-

нів, органів місцевого самоврядування, органів влади Автономної Республіки Крим, інших суб'єктів, що здійснюють владні управлінські функції відповідно до законодавства та рішення яких є обов'язковими для виконання;

– юридичних осіб, які фінансуються з державного, місцевих бюджетів, бюджету Автономної Республіки Крим, — стосовно інформації щодо використання бюджетних коштів.

**Таємна інформація** — інформація, доступ до якої обмежується відповідно до визначених згідно даного Закону обмежень (були наведені вище), розголошення якої може завдати шкоди особі, суспільству і державі. Таємною визнається інформація, яка містить державну, професійну, банківську таємницю, таємницю досудового розслідування та іншу передбачену законом таємницю.

У зв'язку з тим, що службова інформація також є обмеженою (обмеження були наведені вище), то згідно з цим Законом, до службової може належати така інформація:

1) що міститься в документах суб'єктів владних повноважень, які становлять внутрішню службову кореспонденцію, доповідні записки, рекомендації, якщо вони пов'язані з розробкою напряму діяльності установи або здійсненням контрольних, наглядових функцій органами державної влади, процесом прийняття рішень і передують публічному обговоренню та/або прийняттю рішень;

2) зібрана в процесі оперативно-розшукової, контррозвідальної діяльності, у сфері оборони країни, яку не віднесено до державної таємниці.

Отже, постає завдання визначення чіткого механізму віднесення ДІР до публічних, оскільки їх оприлюднення є обов'язковим, то і виникає завдання визначення ризику їх оприлюднення. У даному випадку виникає необхідність відповідно до визначених ризиків, у розробці системи оцінювання шкоди національної безпеки України (оскільки ДІР необхідно розглядати як елемент національної безпеки України, про що автори наголошували у працях [7, 9, 10]). Такі системи оцінювання можуть базуватися на моделях і методах, які відпрацьовані в праці [18].

Визначення ризику може відбуватися за підходом, який представлено автором у праці [8, 9], але з урахуванням специфіки оцінки саме системи публічного менеджменту ДІР.

### Основні результати

Основними результатами автори вважають, те, що вперше визначена мета, предмет, об'єкт, напрямок та завдання дослідження особливостей адміністрування та менеджменту в публічному

управлінні державними інформаційними ресурсами. Уточнено визначення поняття державні інформаційні ресурси, уточнена їх класифікація, надано визначення поняття «публічна інформаційна система». Розроблена модель захисту системи менеджменту публічними державними інформаційними ресурсами на основі методу «подвійної трійки захисту».

### Висновок

Таким чином сформовано загальне наукове завдання, щодо визначення нормативно-правових, організаційних та, в тому числі, інженерно-технічних рішень, направлених на створення єдиної системи публічного менеджменту ДІР. Дана система повинна формуватись з урахуванням світового досвіду впровадження системи публічного менеджменту в державному секторі.

У свою чергу, встановлений напрямок, спонукає на створення науково-прикладного напрямку дослідження: *організація системи публічного менеджменту органів державного управління на платформі сучасних методів та моделей побудови та підвищення ефективності системи адміністрування та публічного менеджменту державних інформаційних ресурсів.*

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Опорний конспект лекцій з навчальної дисципліни «Публічне управління»* : наук. розробка / О. Ю. Оболенський, С. О. Борисевич, С. М. Коник ; Нац. акад. держ. упр. при Президентіві України, Упр. орг. фундам. та приклад. дослідж., каф. держ. упр. і менедж. — К. : НАДУ, 2011. — 56 с.
2. *Публічне управління: теорія і практика* : монографія / Ю. В. Ковбасюк, В. П. Трошинський, М. М. Білинська [та ін.]; за заг. ред. Ю. В. Ковбасюка; Нац. акад. держ. упр. при Президентіві України. — К. : НАДУ, 2011. — 212 с.
3. *Публічне управління: шляхи розвитку* : матеріали наук.-практ. конф. за міжнар. участю (Київ, 26 листоп. 2014 р.). У 2 т. Т. 1 / Нац. акад. держ. упр. при Президентіві України ; за наук. ред. Ю. В. Ковбасюка, С. А. Романюка, О. Ю. Оболенського. — К. : НАДУ, 2014. — 150 с.; Т. 2 — 272 с.
4. *Державний менеджмент в контексті реалізації адміністративної реформи* / Івано-Франківський центр науки, інновацій та інформатизації. — Івано-Франківськ: 2012. — 200 с.
5. *Публічне адміністрування* : навч. посібник / О. М. Ястремська, Л. О. Мажник. — Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. — 132 с.
6. *Державні інформаційні ресурси. Методологія побудови класифікатора загроз* : монографія / О. К. Юдін, С. С. Бучик. — К. : НАУ, 2015. — 214 с.
7. *Загальна модель формування системи захисту державних інформаційних ресурсів* / О. К. Юдін, С. С. Бучик, О. В. Фролов // Наукоємні технології. — 2015. — № 4 (28). — С. 332–337.
8. *Бучик С. С. Методологія побудови та захисту українського сегмента дерева ідентифікаторів державних інформаційних ресурсів* : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 21.05.01 «Інформаційна безпека держави» / С. С. Бучик. — К., 2016. — 40 с.
9. *Бучик С. С. Методологія побудови та захисту українського сегмента дерева ідентифікаторів державних інформаційних ресурсів* : дис. д-ра техн. наук : спец. 21.05.01 / С. С. Бучик. — К., 2016. — 398 с.
10. *Юдін О. К. Класифікація державних інформаційних ресурсів* / О. К. Юдін, С. С. Бучик // Вісник інженерної академії України. — 2015. — № 4. — С.147–150.
11. *Юдін О. К. Інформаційна безпека. Нормативно-правове забезпечення: підручник* / О. К. Юдін. — К.: НАУ, 2011. — 640 с.
12. *Information Security Management — Specification With Guidance for Use: ISO/IEC 27001 : 2013* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=54534](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=54534).
13. *Кодекс адміністративного судочинства України*. Закон України від 06.07.2005 № 2747-IV (зі змінами від 02.06.2016). — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2747-15>.
14. *Про доступ до публічної інформації*. Закон України від 13.01.2011 № 2939-VI (зі змінами від 01.05.2015). — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2939-17>.
15. *Постанова Пленуму Вищого Адміністративного суду України від 29 вересня 2016 р. №10 «Про практику застосування адміністративними судами законодавства про доступ до публічної інформації»*. — Режим доступу: [http://www.vasu.gov.ua/plenum/post\\_plenum/postanov\\_a\\_plenumu\\_10\\_29-09-2016/](http://www.vasu.gov.ua/plenum/post_plenum/postanov_a_plenumu_10_29-09-2016/)
16. *Положення про порядок формування простору ідентифікаційних кодів об'єктів Українського сегмента світового простору ідентифікаторів об'єктів*. Затверджено Рішенням Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації 18 квітня 2013 р. № 227 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1403-13>.
17. *Порядок проведення робіт із створення комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі* : НД ТЗІ 3.7-003-2005. — К. : ДСТСЗІ СБУ, 2005. — № 125.
18. *Корченко О. Г. Оцінювання шкоди національній безпеці України у разі витоку державної таємниці* : монографія / О. Г. Корченко, О. Є. Архипов, Ю. О. Дрейс. — К.: наук.-вид. центр НА СБ України, 2014. — 332 с.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2016

# СИСТЕМНЕ УПРАВЛІННЯ

УДК 004.891.3

## ВИДІЛЕННЯ РЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЙОГО ЛОГУ

**В. М. Левикін**, д-р техн. наук, проф.

**О. В. Чала**, канд. екон. наук, доц.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

E-mail: levykinvictor@gmail.com

*Виконано структурування об'єктів бізнес-процесу з урахуванням інформації про такі об'єкти в журналі реєстрації подій процесу. Запропоновано метод виділення реляційної складової знань бізнес-процесу шляхом аналізу його логу (журналу реєстрації подій). Метод передбачає виявлення залежностей на рівнях об'єктів процесу, атрибутів об'єктів та значень атрибутів. У практичному аспекті метод забезпечує можливості формалізації та подальшого включення в модель елементів персональних знань виконавців, відповідно до яких було змінено хід виконання процесу, після чого ці зміни зафіксовано в журналі.*

**Ключові слова:** знання-ємний бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління.

*Structuring log information about business processes objects is made. The method of selecting the relational links between the objects of the business process by analyzing his journal suggested. The method involves identifying dependencies on process-level objects, object attributes and attribute values. In the practical aspect, the method makes it possible to find and include in the model the elements of personal knowledge of performers, which were used to change the process while it is running, and then recorded in the log.*

**Keywords:** knowledge-intensive business process, intelligent process analysis, process control.

### Постановка проблеми

Організація процесного підходу до управління підприємством передбачає побудову моделей бізнес-процесів (БП) та подальше управління БП з використанням їх моделей [1]. Модель БП містить алгоритм дій з вирішення відповідної функціональної задачі без урахування обмежень, що задає організаційна структура підприємства.

Цикл процесного управління передбачає побудову моделей БП «як повинно бути» на основі апріорних знань про процес, конфігурування моделей у процесній інформаційній системі, реалізацію БП, та удосконалення процесу за результатами його виконання. При удосконаленні бізнес-процесу виконується порівняння апріорної моделі БП «як повинно бути» та моделі процесу «як є, as is», що формується внаслідок аналізу роботи процесу. Під час порівняння визначають «вузькі місця» в моделі процесу. За результатами такого порівняння виконується коригування моделі «як повинно бути, to be».

Формування моделі «як є» може бути ефективно виконано методами інтелектуального аналізу процесів (*process mining*) на основі дослідження логів (журналів реєстрації подій) таких процесів [2]. Результуюча модель «як є» форму-

ється у вигляді workflow — графа, що відображає можливі послідовності робіт, між якими встановлені причинно-наслідкові зв'язки.

Послідовність виконання дій процесу може змінюватись виконавцями з використанням персональних знань про контекст виконання БП [3]. Контекст складається з об'єктів, з якими взаємодіє БП [4]. Такі об'єкти характеризуються набором атрибутів та мають між собою статичні зв'язки, що впливають на хід виконання процесу та можуть привести до зміни послідовності дій реального процесу порівняно з моделлю «як повинно бути». Тому виявлення цих зв'язків на основі аналізу логів та формування з них складової знань бізнес процесу дозволяє обґрунтовано удосконалити модель БП «як повинно бути».

Таким чином, проблема виявлення залежностей між об'єктами контексту БП, є актуальною.

### Аналіз досліджень і публікацій

Традиційні методи інтелектуального аналізу логів процесів включають у модель всі варіанти їх поведінки без видалення незначущих дій [2]. У випадку багатоваріантних процесів, що змінюються виконавцями на основі своїх знань, це призводить до побудови workflow — моделей із значною кількістю вершин на дуг між ними [5],

аналіз та подальше удосконалення яких пов'язано із значними труднощами в силу когнітивних обмежень людини [6]. Існуючі підходи до фільтрації подій логу звичайно базуються на статистичних характеристиках [7] та не враховують причинно-наслідкові зв'язки, що привели до зміни ходу виконання бізнес-процесу.

Альтернативний підхід до моделювання процесів передбачає побудову опису об'єктів, з якими взаємодіє бізнес-процес, а також їх життєвого циклу [8]. При такому моделюванні враховуються зв'язки між об'єктами, однак не розглядається вплив цих зв'язків на послідовність дій бізнес-процесу в цілому [4], що не дозволяє врахувати вплив персональних знань виконавців та використати ці знання для удосконалення БП.

Тому питання виявлення реляційних залежностей між об'єктами бізнес-процесу на основі аналізу їх логів потребує подальшого розгляду.

### Постановка завдання

Мета роботи — розробка методу виявлення на основі аналізу логів БП реляційних залежностей між об'єктами контексту бізнес-процесу, що можуть впливати на послідовність його виконання.

Це дасть можливість формувати workflow — модель методами інтелектуального аналізу процесів, використовуючи лише таку підмножину подій логу, яка містить потрібні залежності. Такий підхід дозволяє отримати workflow — моделі підпроцесів БП з різною деталізацією.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- виконати структурування об'єктів бізнес-процесу з урахуванням наявної інформації в журналі реєстрації подій;
- розробити метод виявлення реляційних залежностей з урахуванням ієрархічного опису об'єктів бізнес-процесу.

### Виклад основного матеріалу

Бізнес-процеси, що враховують вибір послідовності робіт виконавцями на основі своїх знань, відносяться до окремого класу БП — знання-ємних процесів (ЗБП) [9]. Запропонована авторами структурування таких процесів [10] передбачає поділ ЗБП на такі складові:

- контекст;
- послідовність робіт (workflow);
- знання, що визначають залежність між контекстом і діями процесу.

Контекст містить набір артефактів [8], під якими будемо розуміти всі об'єкти, які використовуються ЗБП (наприклад, продукт процесу), або впливають на ЗБП (наприклад, виконавці процесу). Між артефактами контексту існують взаємозв'язки, наприклад підприємство — під-

розділ — виконавець. Властивості та стан артефактів контексту, а також взаємозв'язків між артефактами впливають на хід виконання такого бізнес-процесу.

Послідовність робіт (workflow — складова) включає алгоритм виконання бізнес-процесу.

Рівень знань знання-ємного бізнес-процесу містить у собі два виду залежностей:

- залежності між елементами контексту;
- знання про вплив елементів контексту на виконання дій процесу.

Дана робота присвячена виявленню першого виду залежностей, що входять до складу ЗБП.

Рівень знань знання-ємного бізнес-процесу містить як явну, так і неявну складову. Явна складова задається апріорно і використовується при побудові моделі процесу. Неявна складова відображає вплив виконавців на хід виконання процесу.

Обидві складові можуть бути отримані на основі аналізу журналу. Це дає можливість видалити явну складову з множини залежностей, що отримані внаслідок аналізу логу, після порівняння моделі «як повинно бути» та результатів аналізу.

Підмножина, що залишиться, містить виявлену неявну складову. Після перевірки аналітиком впливу нових залежностей на результати процесу такі знання дають можливість удосконалити апріорну модель «як повинно бути».

Необхідною передумовою для виявлення вказаних залежностей є структурування вхідних даних — інформації про об'єкти (артефакти), що міститься в журналі подій процесу. Такий журнал охоплює множину трас процесу. Кожна траса містить послідовність подій, що фіксує одноразове виконання БП. Події логу, що входять до складу траси, відповідають діям бізнес-процесу. У більшості випадків одна подія містить запис про завершення відповідної дії процесу. Однак існують дії, яким відповідають декілька подій логу, наприклад: початок дії; затримка, що пов'язана з очікуванням ресурсів; завершення дії. У такому випадку до опису події в журналі включать атрибут, що містить поточний стан дії процесу.

Кожна подія описується множиною атрибутів. Перелік атрибутів змінюється залежно від події та бізнес-процесу.

Обов'язковим атрибутом є часова мітка, що містить дату та час запису події інформаційною системою.

Як правило, до складу атрибутів події входять: назва дії процесу; поточний стан дії процесу; ім'я виконавця дії; роль виконавця; об'єкт, що обробляється даною дією процесу.

Атрибути події можуть відображати структурні елементи одного й того ж об'єкту, наприклад:

- організація; підрозділ;
- активність (підпроцес); дія процесу; операція у складі дії.

Аналіз інформації в логах показав, що атрибути події процесу складають таку ієрархію: об'єкт контексту бізнес-процесу  $\rightarrow$  атрибути об'єкту  $\rightarrow$  значення атрибутів.

Інформація про складові вказаної ієрархії прив'язана до різних елементів логу. Так, атрибути та значення атрибутів входять до складу опису події. У більшості випадків така інформація розміщена у стандартизованому вигляді: «класифікатор: ім'я атрибута» = «значення атрибута». Класифікатор вказує артефакт або групу атрибутів, до яких належить даний атрибут. Наприклад, для логу у XES-форматі вираз `<stringkey="concept: name" value="10061280"/>` має таку структуру: ім'я (name) дії (concept) має значення "10061280".

Атрибути події можуть мати лише ім'я, без класифікатора, наприклад: `<stringkey="question" value="EMPTY"/>`. Додаткову інформацію про об'єкт, до якого має відношення атрибут без класифікатора, розміщено в опису лога. Однак у загальному випадку така інформація має бути надана додатково.

Аналіз атрибутів множини подій без урахування часової складової дозволяє встановити найбільш часто повторювані зв'язки між артефактами, атрибути яких представлені в записи подій журналу. Темпоральний аспект у даному випадку не розглядається, тому при виявленні таких реляційних залежностей доцільно використати не методи *processmining*, методи інтелектуального аналізу даних.

Запропонований авторами метод пошуку реляційних залежностей використовує для вирішення локальних задач на окремих етапах алгоритм пошуку предметних наборів FPG (Frequent Pattern-Growth Strategy). Даний алгоритм дозволяє задати послідовність атрибутів артефактів при побудові структури залежностей. Це дає можливість визначити залежності які між різними артефактами, так і між окремими атрибутами одного артефакту.

Головна ідея запропонованого метода полягає в тому, щоб побудувати реляційні залежності для всіх трьох рівнів ієрархії: артефакт; атрибут; значення атрибута. Тому на кожному етапі послідовно формуються набори, що були використані при описі подій.

При реалізації етапів запропонованого методу рівень підтримки визначено=2.

Такий рівень означає, що одна й та сама подія зустрічається щонайменше в двох трасах лога. Вибір такого рівня підтримки зумовлюється таким.

З результатами аналізу потрібно розділити типові рішення та унікальні, що, можливо, підходять тільки для окремих випадків виконання процесу. Такі окремі випадки недоцільно включати в загальну модель «як є» тому, що це створює труднощі при її аналізі внаслідок когнітивних обмежень людини. Для додаткового аналізу окремих випадків часткова модель БП може бути побудована з однієї унікальної траси процесу.

Якщо одна й та сама подія виникла в одних і тих самих умовах на різних трасах (тобто характеризується ідентичними наборами атрибутів, а також їх значень в журналі БП), то таку подію вважатимемо типовою, оскільки вона характерна як мінімум для двох екземплярів бізнес-процесу. Відповідно, будемо враховувати реляційні залежності, що використовуються при типовому виконанні бізнес-процесу. Метод виявлення реляційних залежностей містить такі етапи:

*Етап 1.* Визначення множини артефактів та їх атрибутів як вхідних даних.

Формально артефакт характеризується множиною атрибутів:

$$af = \{a_i^{af}\}, af \in Af,$$

де  $af$  — поточний артефакт;  $Af$  — множина артефактів контексту;  $a_i^{af}$  —  $i$ -атрибут артефакту.

Стан артефакту, зафіксований у подіях логу, визначається значеннями його атрибутів:

$$af_{tr}^e = \{a_i^{af}, v_{ij}\}, af \in Af, v_{ij} \in V_i, V_i \subset V,$$

де  $af_{tr}^e$  — стан артефакту у дискретний момент часу, коли виникла подія  $e$  та трасі  $t$ ;  $v_{ij}$  — поточне значення атрибута  $a_i$ ;  $V_i$  — множина можливих значень атрибута  $a_i^{af}$ .

Подія логу на трасі також визначається таким набором атрибутів об'єктів контексту, для яких задані значення в її опису:

$$e_{tr} = \bigcup_{af} \{a_i^{af} \mid \exists v_{ij}^{e,tr}\},$$

де  $e_{tr}$  — подія на трасі  $tr$  логу процесу;  $v_{ij}^{e,tr}$  — значення атрибута  $a_i^{af}$ , що зафіксовано в описі події  $e_{tr}$  на трасі  $tr$ .

У даному методі використовуються лише ті артефакти та їх атрибути, що зазначені в журналі подій процесу, тобто для вхідних даних повинна виконуватись умова:

$$A = \{A^{af}\} = \{\{a_i^{af}\}\} \mid \bigcup_{af} \{a_i^{af}\} = \bigcup_{af, e, tr} \{a_i^{af} \mid \exists v_{ij}^{e,tr}\}, (1)$$

де  $A$  — множина атрибутів — вхідних даних методу.

Умова (1) задає обмеження на вхідні дані в тому випадку, якщо є додаткова експертна інформація про склад артефактів процесу. При використанні лише інформації з подій логу обмеження на множину вхідних атрибутів має такий вигляд:

$$A = \{a_i\} = \bigcup_{e, tr} \{a_i^{e, tr}\} \quad (2)$$

Таким чином, на даному етапі формується множина артефактів відповідно до обмеження (1) та атрибутів відповідно до обмеження (2).

*Етап 2.* Виявлення залежностей між атрибутами артефактів.

На даному етапі виконуються такі кроки аналізу журналу подій.

$$A = \{a_i\} = \bigcup_{e, tr} \{a_i^{e, tr}\}.$$

2.1. Визначення підмножин атрибутів подій з підтримкою не менше 2.

2.2. Сортування атрибутів подій  $a_i^{e, tr}$  за рівнем зменшення їх підтримки.

2.3. Сортування подій за зменшенням підтримки першого атрибуту.

2.4. Побудова FP-дерева відповідно до алгоритму FPG.

2.5. Побудова умовних дерев та визначення атрибутів, між якими існують реляційні залежності.

*Етап 3.* Виявлення залежностей між значеннями атрибутів.

Залежності між значеннями атрибутів на даному етапі визначаються для кожного атрибуту  $a_i$ , що може бути зафіксований у різних подіях на різних трасах логу у вигляді  $a_i^{e, tr}$ .

Визначення залежностей відбувається аналогічно етапу 2.

Даний етап призначений для виявлення таких залежностей між значеннями атрибутів, які відсутні в моделі процесу, але були використані виконавцями для зміни послідовності його дій.

*Етап 4.* Виявлення залежностей між артефактами.

Даний етап виконується тільки у випадку істинності умови (1).

Особливість даного етапу полягає у тому, що безпосередньо артефакти не зафіксовані в журналі подій.

Тому рівень підтримки артефакту визначається як сума появ атрибутів цього артефакту в опису події. Оскільки одна й та ж подія може бути зафіксована на різних трасах процесу, то при визначенні рівня підтримки події з трас об'єднуються, тобто:

$$r(af, e) = \sum_{i, tr} |\{a_i^{af} | \exists v_{i, j}^{e, tr}\}|,$$

де  $r(af, e)$  — рівень підтримки артефакту  $af$  для події  $e$ .

### Висновки

Виконано структурування об'єктів бізнес-процесу з урахуванням інформації про такі об'єкти в журналі реєстрації подій.

Об'єкт характеризується множиною атрибутів. Стан об'єкту — поточними значеннями атрибутів. Інформація про атрибути об'єктів та їх значення завжди присутня в описі подій журналу. Інформація про зв'язок між об'єктами та атрибутами у повному обсязі у журналі не присутня. Тому для встановлення складу об'єктів потрібна додаткова експертна інформація.

Залежно від повноти вхідних даних, реляційні залежності можуть бути виявлені на двох або трьох рівнях: значення атрибутів — атрибути — об'єкти.

Запропоновано метод виділення, на основі аналізу логу, реляційних залежностей між об'єктами контексту бізнес-процесу.

Такі залежності можуть впливати на послідовність виконання бізнес-процесу. Метод передбачає виявлення залежностей на всіх трьох рівнях деталізації вхідних даних та подальшу побудову ієрархії залежностей.

У практичному аспекті метод створює можливість формалізації та подальшого включення в модель персональних знань виконавців, відповідно до яких було змінено хід виконання процесу.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske — 2nd ed. — Presented at Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. — 403 p.
2. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p.
2. *Van der Aalst W. M. P.* Process Mining in the Large: A Tutorial / W. M. P. Van der Aalst // Business Intelligence. — Springer Science + Business Media, 2014. — P. 33–76.
3. *Smith E. A.* The role of tacit and explicit knowledge in the workplace / Elizabeth A. Smith // Journal of Knowledge Management. — 2001. — №5(4). — P. 311–321.
4. *Nigam A.* Business artifacts: An approach to operational specification/ A. Nigam, N. S. Caswell/ IBM Systems Journal. — 2003. — № 42(3). — P. 428–445.
5. *Van der Aalst W.M.P.* Process Mining: Discovering and Improving Spaghetti and Lasagna Processes / W.M.P. van der Aalst // In N. Chawla, I. King, and

A. Sperduti, editors, IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, Paris, France, April 2011. — P. 13–20.

6. *Görg, C. Visual Representations / C. Görg, M. Pohl, E. Qeli, K. Xu // Human-Centered Visualization Environments. — Springer Science + Business Media. — 2007 — P. 163–230.*

7. *Van der Aalst, W. M. P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p.*

8. *Hull R. Business Artifacts with Guard-Stage-Milestone Lifecycles: Managing Artifact Interactions with Conditions and Events// DEBS, — 2011. — P. 51–62.*

9. *Gronau N. Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English) / N. Gronau. — Gito, 2012. — 522 p.*

10. *Левыкин В. М. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов // В. М. Левыкин, О. В. Чалая // Технологический аудит и резервы производства. — 2016. — № 5/2(31). — С. 65–71.*

Стаття надійшла до редакції 24.11.2016

УДК 004.891.3

## МЕТОД АДАПТИВНОГО ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПІДХОДУ

**С. С. Чалий**, д-р техн. наук, проф.

**І. В. Левикін**, канд. техн. наук, доц.

Харьковский национальний университет радіоелектроніки

E-mail: levykinvictor@gmail.com

*Запропоновано метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу. Метод містить етапи: адаптація прецедентних моделей процесів, виконання процесів згідно завдань в моделі послідовності дій; додавання нового процесу до множини тих, що виконуються, з урахуванням затримок при доступі до загальних ресурсів. На відміну від існуючих, метод реалізує управління множиною бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси. Метод дає можливість оцінити можливість виконання часових обмежень при додаванні нових процесів і, на цій основі, підвищити ефективність процесного управління.*

**Ключові слова:** прецедент, бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління.

*The method of adaptive process management-based approach proposed case. The method includes the steps: adaptation precedent process models; process execution according to the model; adding a new process to set those performed by calculating the delay when accessing shared resources. Unlike the existing method realizes control multiple business processes that use shared resources. The method makes it possible to assess the possibility of satisfaction of time constraints when adding new processes and, on this basis, improve process management.*

**Keywords:** case-based reasoning, business process, process mining, process control.

### Постановка проблеми

Концепція процесного управління організації, на відміну від функціонального підходу, передбачає побудову *workflow* — моделей послідовностей робіт, що забезпечують вирішення відповідних функціональних завдань, пов'язаних з виробництвом продукції та послуг, адмініструванням, сервісним обслуговуванням тощо. Такі послідовності робіт, що використовують ресурси для створення продуктів, послуг, є бізнес-процесами (БП) підприємства. Після побудови моделей бізнес-процесів подальше управління підприємством здійснюється шляхом управління бізнес-процесами [1]. Для побудови моделей бізнес-процесів використовують як традиційні підходи, що пов'язані з розробкою «з чистого листа», так і підходи, що передбачають використання існуючого досвіду процесного управління. У останньому випадку моделі процесів адаптуються та тиражуються, що дозволяє зменшити витрати на впровадження бізнес-процесів.

Прецедентний підхід (Case-based reasoning, CBR) є одним із підходів, направлений на використання існуючого досвіду, зокрема при впровадженні процесного управління на нових підприємствах, для вирішення нових завдань, що мають реалізовані аналоги [1]. Прецедент містить досвід вирішення завдань у вигляді структурованих характеристик завдань, а також опис процесу її вирішення [2–4]. При використанні прецедентів у рамках процесного підходу процес

вирішення завдання являється бізнес-процесом. Реалізація процесного управління на основі прецедентного підходу передбачає виконання пошуку та адаптації прецеденту, його застосування, та подальше збереження [2, 4].

Під час реалізації прецедентного підходу процедура адаптації прецеденту виконується до початку управління відповідним процесом. Це не дозволяє адаптувати процес управління та змінювати послідовність роботи процесів у разі виконання, особливо при доступі до загальних ресурсів.

Таким чином, проблема адаптивного управління бізнес-процесами є актуальною.

### Аналіз досліджень і публікацій

Реалізація процесного управління виконується з використанням процесних інформаційних управляючих систем. Такі системи забезпечують підтримку послідовності дій процесу згідно з поточним станом предметної галузі та записують інформацію про виконання процесів у журналі реєстрації подій [5].

Сучасні методи та інструментальні засоби інтелектуального аналізу процесів (*process mining*) забезпечують можливість побудови прецедентних вирішень завдань у вигляді моделей відповідних бізнес-процесів. Такі моделі містять причинно-наслідкові зв'язки між подіями, що записані в журналі реєстрації подій інформаційної управляючої системи [5]. Методи *process mining* призначені для побудови дискретних моделей у



вигляді мереж Петрі, темпоральних логічних моделей тощо [5, 6]. Отримані методами аналізу моделі прецедентів бізнес-процесів визначають послідовність вирішення завдання, але не враховують взаємодію процесів та можливість використання ними загальних ресурсів, що може приводити до значних затримок у виконанні БП [7]. Це не дозволяє в рамках прецедентного підходу вирішити завдання управління множиною процесів за умови зміни складу елементів цієї множини. Тому питання адаптивного управління множиною процесів, як елементів прецедентів потребують подальшого розгляду.

### Постановка завдання

Мета роботи — розробка методу адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу, що полягає у виборі подальших трас виконання набору бізнес-процесів на підприємстві при зміні складу цього набору: додавання нових процесів, завершення поточних.

Це дає можливість підвищити ефективність управління множиною бізнес-процесів шляхом включення нових бізнес-процесів до множини працюючих з урахуванням затримок у разі доступу до загальних ресурсів.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити головні особливості адаптивного управління сукупністю бізнес-процесів підприємства;
- розробити методи оцінки стану та адаптації бізнес-процесів як складової прецеденту;
- розробити метод адаптивного управління множиною бізнес-процесів з урахуванням змін у складі цієї множини.

### Виклад основного матеріалу

З метою обґрунтування методу адаптивного управління визначаємо головні відмінності адаптивного управління.

Розрізняють три базових типи управління: розімкнуте; зі зворотним зв'язком; адаптивне. При розімкнутому управлінні алгоритм управління використовує апріорно заданий алгоритм поведінки об'єкту управління. Алгоритм розімкнутого управління не враховує зовнішні впливи і тому не коригується залежно від фактичного значення параметрів об'єкту управління.

Управління зі зворотним зв'язком передбачає зміну керуючих впливів залежно від керованої величини.

При адаптивному управлінні використовується модель об'єкту управління. За допомогою цієї моделі прогнозується результати поточного управління та виконується відповідна зміна управляючих дій.

Відповідно до поставленого завдання, об'єктом управління є сукупність бізнес-процесів, кожен з яких входить до складу прецеденту. Це означає, що для кожного процесу задана множина всіх відомих з практики можливих послідовностей вирішення відповідної функціонального завдання з урахуванням затримок в обслуговуванні. Кожен бізнес-процес характеризується послідовністю його реалізованих станів, а не параметрами продукції чи послуг, які виробляються цим процесом. Реалізована послідовність станів процесу обмежує можливі варіанти його подальшої поведінки, задаючи тим самим напрямком його подальшого виконання. Подальше управління у кожний дискретний момент часу полягає в виборі такої послідовності класів станів, що забезпечує досягнення цільового стану процесу.

Тому завдання адаптивного управління множиною БП потребує ідентифікації стану кожного процесу та подальшого віднесення цього стану до одного з апріорно заданих класів:

- стани БП, що не можуть бути використані при його подальшому виконанні;
- стани, які забезпечують досягнення цільового стану із затримками;
- стани бізнес-процесу, що забезпечують досягнення цільового стану без інтервалів затримки.

До першої групи відносять такі стани, що не забезпечують досягнення цільового стану процесу. В рамках прецедентного підходу це означає, що не на практиці ще не було таких послідовностей дій, що забезпечили б досягнення цільового стану з поточного. До другої групи належать стани, у яких у прецедентній моделі існують траєкторії досягнення результату бізнес-процесу. Однак на цих траєкторіях поряд з діями процесу існують інтервали затримки [7], що пов'язані з очікуванням ресурсів. До третьої групи відносять стани, у яких у моделі прецеденту існують шляхи досягнення цільового стану та не існує інтервалів затримки.

Таким чином, для реалізації адаптивного процесного управління необхідно виконати ряд попередніх дій з визначення стану бізнес-процесу та його подальшої адаптації з урахуванням цього стану.

Такі дії містять:

- спрощення прецедентної моделі процесу з урахуванням поточного стану БП;
- оцінку часу виконання (досягнення цільового стану) процесу відносно його поточного стану;
- адаптацію моделей сукупності процесів, що виконуються;
- інтеграцію моделей процесів, що виконуються на підприємстві.

Вказані дії реалізовані у вигляді методів, що будуть розглянуті у подальшому.

Вхідними даними цих методів є:

– журнали подій процесів — прецедентів, що були записані відповідною інформаційною системою;

– моделі процесів у складі прецедентів, що були отримані методами *processmining* [5, 6] з додаванням інтервалів виконання робіт процесу та інтервалів очікування ресурсів відповідно до запропонованого авторами підходу [7];

– перелік об'єктів (продукція, послуги), які виробляються бізнес-процесом.

Розглянемо методи, що виконують попередні дії для визначення стану та коригування моделей бізнес-процесів.

**Метод спрощення прецедентної моделі** призначений для видалення з моделі тих шляхів вирішення завдань, які не будуть використані в заданих умовах предметної галузі. Метод містить такі етапи.

*Етап 1.* Формування обмежень на новий процес.

На цьому етапі формуються обмеження у вигляді комбінацій властивостей об'єктів, що обробляються бізнес-процесом. Такі властивості записані в описі подій логу.

*Етап 2.* Коригування логу.

На даному етапі з поточної копії логу процесу видаляються всі траси, що не передбачають обробку об'єктів з заданого переліку.

Лог  $\Pi$  містить множину трас  $\pi_k$ :

$\Pi = \{\pi_k\}$ ,  $k = \overline{1, K}$ . У свою чергу, траса логу містить повну послідовність подій, що відображують повне одноразове виконання бізнес-процесу.

$$\pi_k = \langle E_k, \succ \rangle, E_k = \{e_{k,i}\};$$

$$\forall e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k (e_{k,i} \succ e_{k,j}) \vee (e_{k,j} \succ e_{k,i}),$$

де  $\pi_k$  —  $k$ -траса процесу;  $E_k$  — множина подій на трасі процесу;  $e_{k,i}$  —  $i$ -подія траси  $\pi_k$ ;  $\succ$  — відношення переходу; наявність відношення переходу  $\succ$  між двома подіями  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  означає, що між ними немає проміжних подій.

Вхідна множина властивостей об'єктів задається множиною пар  $\{(a, v)\}$ , де  $a$  — назва властивості;  $v$  — значення властивості.

Тоді критерій спрощення задається так:

$$\begin{aligned} \Pi^{simpl} &= \{\pi_k \mid \exists e_{k,i} = \\ &= \{(a^e, v^e)\} : \{(a^e, v^e)\} \cap \{(a, v)\} \neq \emptyset, \end{aligned}$$

де  $\Pi^{simpl}$  — спрощений лог процесу;  $a^e$  — назва однієї з властивостей події  $e_{k,i}$ ;  $v^e$  — значення відповідної властивості.

*Етап 3.* Адаптація моделі процесу шляхом видалення таких шляхів вирішення завдань, які не відповідають отриманим на етапі 1 обмеженням. Модель процесу за результатами даного етапу повинна відповідати логу. Тому така адаптація виконується методами *processmining*.

*Етап 4.* Видалення інтервалів виконання дій та очікування, що не відповідають отриманій на етапі 3 моделі.

Наступний метод — **оцінка часу виконання**. Даний метод дає можливість перевірити виконання темпоральних обмежень для процесу, що виконується.

Метод містить у собі такі етапи:

*Етап 1.* Визначення підмножини можливих траєкторій досягнення кінцевого стану процесу вирішення завдань. Така траєкторія може бути знайдена у результаті аналізу вхідних даних (як логу, так і моделі).

*Етап 2.* Визначення часу досягнення фінального стану процесу з поточного стану для кожної траєкторії виконання процесу.

На цьому етапі визначають мінімальні та максимальні значення тривалості вирішення завдань.

При реалізації цього етапу використовують вхідні дані: лог процесу; інтервали очікування та виконання дій. Тривалість виконання становить суму інтервалів очікування та виконання дій процесу. Тривалість виконання обраховується по кожній трасі процесу. Альтернативний варіант реалізації етапу — обчислення тривалості виконання по міткам часу подій процесу.

*Етап 3.* Відбір підмножини варіантів вирішення завдань, для яких час завершення процесу не перевищує заданий поріг рівня.

*Етап 4.* Визначення сумарної тривалості інтервалів очікування для кожної з можливих траєкторій виконання процесу.

На даному етапі використовують вхідні дані: інтервали очікування, що пов'язані з подіями процесу.

**Метод адаптації моделей сукупності процесів, що виконуються**

Даний метод містить такі етапи.

*Етап 1.* Формування поточної моделі сукупності процесів, що виконуються.

На даному етапі виконується видалення з інтегральної моделі процесів вирішення завдань тих інтервалів, що уже були виконані.

*Етап 2.* Спрощення моделі сукупності процесів. На даному етапі відбувається уточнення поточної інтегральної моделі згідно методу адаптації. З поточної моделі додатково видаляються ті траєкторії, що не вже будуть виконані внаслідок вибору, що був зроблений протягом виконання процесу.

*Етап 3.* Оцінка часу виконання інтегральної моделі відповідно до наведеного методу оцінки.

На даному етапі виконується поточна оцінка, мінімального та максимального інтервалів часу, що залишилися до завершення роботи інтегральної моделі. Завершення передбачає кон'юнкцію результатів всіх процесів, що входять до цієї моделі:

$$ПР \equiv \bigvee_i ПР_i,$$

де  $ПР_i$  — результат одного процесу, що відповідає досягненню його цільового стану.

**Метод інтеграції моделей процесів** призначений для доповнення існуючої сукупності процесів, що виконуються, новим процесом. Така потреба виникає, наприклад, при обробці нового заказу, сервісного обслуговування обладнання тощо. Метод містить такі етапи:

*Етап 1.* Оцінка часу виконання нового процесу відповідно до наведеного вище методу оцінки.

*Етап 2.* Пошук ідентичних ресурсних обмежень у обох процесів.

Такі обмеження позначені в журналі процесу у вигляді атрибутів — ресурсів, наприклад: обладнання, виконавець тощо.

*Етап 3.* Визначення часових інтервалів для використання спільних ресурсів. Якщо одні й ті самі ресурси використовують одночасно у темпоральному вимірі, то новий процес буде їх очікувати. Тобто поточна модель процесу, що додається, буде відрізнятись від реального процесу. Потрібно врахувати нові інтервали очікування. Сумарний час виконання нового процесу збільшиться на суму цих інтервалів очікування.

*Етап 4.* Уточнення часу виконання нового процесу.

На даному етапі до часу рішення задачі нового процесу додається сумарний час використання спільних ресурсів.

*Етап 5.* Перевірка часових обмежень для нового процесу.

Якщо новий процес з додатковими інтервалами очікування не задовольняє темпоральним обмеженням, то робота метода на цьому завершується.

*Етап 6.* Об'єднання моделей процесів на інтервалах очікування.

На даному етапі перед діями нового процесу, що потребують уже затребуваних ресурсів, додається інтервал очікування. Тривалість цього інтервалу становить різницю між моментом запиту ресурсів новим процесом та моментом їх звільнення інтегральним процесом, що виконується.

**Метод адаптивного управління** використовує наведені методи підготовки моделей процесів та містить такі етапи:

*Етап 1.* Адаптація моделі процесу методом.

*Етап 2.* Реалізація поточної дії одного з процесів, що виконуються.

На даному етапі реалізується лише та дія процесу, яка може бути виконана у даний дискретний момент часу відповідно до вхідної дискретної моделі. Після виконання дії фіксується стан процесу та предметної області.

*Етап 3.* Перевірка появи нового процесу для виконання.

Якщо до процесів, що виконуються, потрібно додати новий процес, то перейти до етапу 4.

В іншому випадку перейти до етапу 3.

*Етап 4.* Поєднання процесів методом інтеграції.

*Етап 5.* Якщо досягнуто всі поточні процеси виконано, тобто досягнуто всіх станів з множини цільових для всіх процесів, то метод завершує роботу. В іншому випадку перейти до етапу 2.

### Висновки

Визначено головні відмінності адаптивного управління бізнес-процесами.

Запропоновано метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу, що містить такі етапи: адаптацію моделей процесів, що виконуються відповідно до їх поточних станів; поетапне виконання процесів, згідно заданих в моделі послідовності дій; додавання нового процесу до множини тих, що виконуються, з урахуванням затримок при доступі до загальних ресурсів.

На відміну від існуючих, метод реалізує управління множиною бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси.

Склад цієї множини БП, що виконуються, може змінюватись. Наприклад, при обробці нових заказів до множини додаються нові процеси.

Метод дає можливість оцінити можливість виконання обмежень на час виконання існуючих процесів при додаванні нових процесів. Залежно від результатів оцінки новий процес може бути поданий на виконання або залишитись у стані очікування. Це надає можливість підвищити ефективність процесного управління сукупністю бізнес-процесів підприємства. У рамках адаптивного управління запропоновано групу допоміжних методів, що забезпечують коригування процесних моделей відповідно до потреб управління.

Такі методи призначені для виконання наступних допоміжних дій: спрощення прецедентної моделі процесу з урахуванням поточного стану БП; оцінку часу виконання (досягнення цільового стану) процесу відносно його поточного стану; адаптацію моделей сукупності процесів, що виконуються; інтеграція моделей процесів, що виконуються на підприємстві.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske — 2nd ed. — Presented at Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. — 403 p.
2. *Watson I.* Case-based reasoning is a methodology not a technology // Knowledge-based systems. — 1999. — № 12. — P. 303–308.
2. *Николайчук О. А.* Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем / О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Автоматизация и современные технологии. — 2009. — № 5. — С. 3–12.
3. *Aamodt A.* Case-Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Aamodt, E. Plaza // AI Communications. — 1994. — N 7 (1). — P. 39–59.
4. *Люгер Д. Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люгер — М. : Вильямс, 2003. — 864 с.
5. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p.
6. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining in the Large: A Tutorial / W. M. P. Van der Aalst // Business Intelligence. — Springer Science + Business Media, 2014. — P. 33–76.
7. *Чалый С. Ф.* Выявление интервалов ожидания в бизнес-процессах на основе анализа последовательностей событий / С. С. Чалый, И. В. Левыкин // Технологический аудит и резервы производства, 2016. — № 5/2(31). — С. 71–76.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2016

УДК 628.336.3

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ПЕРЕД АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ

**С. В. Бойченко**, д-р техн. наук, проф.;

**С. Й. Шаманський**, канд. техн. наук, доц.; **А. Я. Ільченко**

Національний Авіаційний Університет

crytema@yandex.ru

*У статті наведено характеристику існуючих очисних споруд міжнародного аеропорту Бориспіль. На основі досліджень, подані найбільш ефективні методи попередньої обробки осадів господарсько-побутових стічних вод, які впливають на інтенсивність процесів гідролізу під час анаеробного збродження. Представлено основні технологічні вимоги до організації процесів збродження осадів стічних вод від авіапідприємств на стадії гідролізу органічних сполук. Проведено аналіз результатів техніко-економічного порівняння обраних варіантів попередньої обробки осадів. На підставі цього в статті сформувані висновки щодо доцільності використання тієї чи іншої технології попередньої обробки осадів стічних вод від авіапідприємства.*

**Ключові слова:** осади стічних вод; гідроліз; інтенсифікація; біогаз; анаеробне збродження; хімічне споживання кисню (ХСК); беззолна речовина (БР); суха речовина (СР).

*In the article the existing sewage treatment plant of Boryspil International Airport is characterized. Based on the researches, the most effective methods of pre-treatment of household wastewater sludges that affecting at the intensity of hydrolysis during anaerobic digestion was analyzed. The basic requirements for technological processes of digestion of wastewater sludges from aviation enterprise on the hydrolysis stage of organic compounds was presented. The analysis of technical and economic comparison results of selected variants of wastewater sludge pretreatment was performed. On this basis, it was formed conclusions regarding the usefulness of a technologies of wastewater sludge pretreatment from aviation enterprise.*

**Keywords:** wastewater sludges; hydrolysis; intensification; biogas; anaerobic digestion; chemical oxygen demand (COD); ashless substance (AS); dry matter (DM).

### Вступ

На сьогодні, проблема знешкодження та утилізації осадів стічних вод, які утворюються на каналізаційних очисних спорудах, посідає важливе місце в комплексі проблем захисту довкілля. Світовий досвід використання технології анаеробної переробки осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу з метою його подальшого використання свідчить про перспективність її впровадження. Беручи до уваги зазначені фактори, актуальним стає пошук ефективних методів попередньої обробки осадів стічних вод перед анаеробним збродженням.

### Постановка завдання

Сьогодні стічні води міста Бориспіль та аеропорту, опиняються на полях фільтрації. Робочі навантаження цих полів, розташованих усього в одному кілометрі від злітно-посадкової смуги і приблизно на тій самій відстані від масиву Дубчанське, мінімум у три рази перевищують нормативні. При цьому частка стоків від аеропорту

становить близько 10 %. У той же час в місті Бориспіль будується багато житлових будинків, об'єктів інфраструктури. Відсутність очисних споруд несе загрозу техногенної катастрофи, а переповнені поля фільтрації можуть становити небезпеку і для самого аеропорту.

Для вирішення цієї проблеми та переходу на видобуток біогазу, необхідно визначитися з методами попередньої обробки осадів стічних вод та їхньою економічною рентабельністю.

### Аналіз літературних даних

Останні дослідження [1, 2] показують, що в цілому для процесів анаеробного збродження важливими параметрами є температура субстрату, рН, вміст кисню в реакторі, наявність або відсутність відповідної мікрофлори і токсинів у субстраті, інтенсивність перемішування, тиск у реакторі і т. д. Крім того, для оптимального протікання, кожна стадія процесу часто вимагає особливих умов. Гідроліз також вимагає таких самих умов [3, 4].

Тому доцільно відокремити стадію гідролізу від інших стадій ферментації і створити оптимальні умови для його інтенсифікації.

### Мета

Метою статті є проведення техніко-економічного порівняння обраних варіантів обробки осадів стічних вод авіапідприємства та формування комплексної картини сучасних наукових уявлень про методи інтенсифікації гідролізу.

### Характеристика очисних споруд авіапідприємства

Міжнародний аеропорт Бориспіль є найбільш завантаженим аеропортом в Україні, він забезпечує близько 65 % пасажирських авіаперевезень України і щороку обслуговує понад 8 мільйонів пасажирів.

Як і переважна більшість інших підприємств та комунальних господарств, аеропорт є споживачем певної кількості води. Внаслідок її використання, вона забруднюється різними відходами господарювання, втратами виробництва тощо. Концентрація і склад забрудників води перебуває в тісному зв'язку зі сферою її застосування. Унаслідок цього склад використаних вод є досить різноманітним і часто несталим [5].

Стічними (з позицій каналізування) є води, які були використані для тих чи інших потреб і дістали при цьому додаткові домішки (забруднення), що змінили їхній першопочатковий хімічний склад або фізичні властивості. До стічних відносять також води, що стікають з території населених пунктів підприємств як наслідок випадання атмосферних опадів (дощів, снігу та його танення тощо). Всі утворені стічні води повинні бути видалені (каналізовані).

На території аеропорту Бориспіль існує дві системи дощової каналізації закритого типу з одним випуском у р. Іква.

Перша система містить зливоприймачі і зливові мережі від частини території штучної злітно-посадкової смуги № 1, рулільних доріжок, платформи ДП «ЗОД» і платформи «F», акумулюючої ємкості і насосної станції поверхневого стоку.

Друга система поверхневих стоків містить систему приймання та транспортування поверхневих стоків від злітно-посадкової смуги № 2 і службово-технічної території.

Дощові води з аеропорту по самопливному магістральному колектору діаметром 1000 мм поступають на очисні споруди, що мають дві секції розділені нафтовловлювальною сіткою. Майданчик очисних споруд розташовується на відстані 8,3 км на південь від аеропорту та на відстані 2,7 км від східної околиці с. Ревне.

Склад очисних споруд:

- секція відстою;
- нафтовловлювальна стінка;
- нафтозбиральна ємність;
- секція додаткової аерації.

Очисні споруди проектувались як став-відстійник на період дощів і як біологічний став в період між дощами. Очисні споруди здійснюють механічну очистку стічних вод та їх аерацію, а також захист споруд від поверхневих вод з прилеглої території.

Господарсько-побутова каналізація включає в себе 4 каналізаційно-насосні станції (КНС), до яких стоки з території аеропорту стікаються існуючими самопливними трубопроводами. Звідси стоки стікають до головної КНС, після чого прямують на поля фільтрації. При цьому осадки господарсько-побутових стічних вод попередньо не проходять обробки.

Поля фільтрації являють собою територію загальною площею 64 га, розділену земляними валами на ділянки по 0,7–0,9 га кожна, що експлуатується комунальним підприємством — «Бориспільводоканал». Приблизно 10 000 м<sup>3</sup> стічних вод опиняються на полях фільтрації кожного дня, близько 10 % з яких — від аеропорту.

### Методи попередньої обробки осадів стічних вод

Переробка осадів стічних вод від авіапідприємств у метантенку, незважаючи на можливість отримати додаткове альтернативне джерело енергії — біогаз, а також екологічно безпечно добриво, на жаль, неефективна в Україні.

Проблема полягає в тому, що технології зброджування, які використовуються сьогодні, не є досконалими. Процеси бродіння займають багато часу, а вихід біогазу є незначним. З урахуванням особливостей кінетики цих процесів можна створити більш ефективні технології.

Для інтенсифікації можна використовувати попередню обробку осадів. Вона повинна бути направлена на розкладання органічної речовини і трансформації її з нерозчинного стану в розчинний.

Для попередньої обробки можна використовувати такі методи: механічне подрібнення; кислотне оброблення (кислотний гідроліз); оброблення лугом (лужний гідроліз); нагрівання до високих температур 100–180 °С (термогідроліз); лужне оброблення і нагрівання (термолужний гідроліз) та ультразвукове опромінення (ультразвуковий гідроліз)[6].

Кислотний і лужний гідроліз — методи попередньої обробки, за яких відбувається розкладання органічної речовини під впливом кислот або лугів.

При термогідролізі розкладання органіки відбувається під дією високих температур (100–180 °C), при ультразвуковій обробці — за рахунок ультразвукової кавітації. Термолужний гідроліз поєднує два руйнуючих фактори: вплив високих температур і лугів.

Термолужна обробка, незважаючи на високий ступінь руйнування активного мулу, поступається за поширеністю термообробці в зв'язку з високими витратами на реагенти.

Більшого поширення в даний час отримує технологія, яка передбачає термогідроліз активного мулу за температури 130–180 °C і відповідному тиску (понад 6 бар), що має назву «Процес Cambi» та «Процес Biothelys™». Застосування цього методу дозволяє підвищити глибину розпаду беззольної речовини і пришвидшити вихід біогазу на 30 %.

Однак для запровадження цих процесів, необхідно здійснити витрати на капітальне будівництво вузла термогідролізу (реакторів, теплообмінників і системи подачі пари), що здійснює нагрів, охолодження і рециркуляцію активного мулу, що трохи знижує привабливість даного методу.

Світова практика показує, що ультразвукова попередня обробка є одним з нових перспективних методів підвищення біодоступності осадів і виходу біогазу в процесі анаеробного зброджування.

За літературними даними, застосування цього методу попередньої обробки при зброджуванні активного мулу в лабораторних і пілотних реакторах, дозволяє підвищити глибину розпаду беззольної речовини (БР) на 10–56 %, залежно від умов обробки [7].

Відсутність необхідності застосування реагентів, можливість простого вбудовування ультразвукових диспергаторів в існуючі технологічні схеми робить цей метод привабливим для перспективного використання.

Однак, це — енергоємна технологія, і доцільність її застосування потребує ретельного економічного розрахунку ефективності для конкретного авіапідприємства.

#### **Аналіз ефективності досліджуваних методів обробки осадів та їх техніко-економічні показники**

Згідно з дослідженнями [8–10], при використанні всіх досліджуваних методів обробки було отримано підвищення концентрації розчинного

ХСК в 2–12 разів (залежно від методу) без зміни вмісту СР і БР активного мулу.

Обраними методами можна досягати таких збільшень розпаду БР:

- механічне подрібнення — 2,2 %;
- кислотний гідроліз — 5,7 %;
- лужний гідроліз — 8,7 %;
- термогідроліз (160 °C) — 23 %;
- ультразвуковий гідроліз — 20 %.

Базуючись на результатах досліджень, було проведено техніко-економічний аналіз методів попередньої обробки осадів, враховуючи витрати на електроенергію, реагенти і вартість необхідних установок.

Критерієм порівняльної економічної ефективності капіталовкладень є мінімум приведених витрат. Найбільш вигідною є схема з меншою сумою приведених витрат.

Вихідними даними для визначення вартості обладнання є перелік встановленого обладнання, а також ціни на обладнання, що приймалась за прейскурантами. Також було відомо, що за 24 год кількість стічних вод від аеропорту Бориспіль сягає 800 м<sup>3</sup>, а кількість осадів стічних вод приймалась рівною 1 % від загальної кількості стічних вод, тобто 8 м<sup>3</sup>.

Величина експлуатаційних витрат визначалась підсумовуванням витрат по кожному елементу витрат, обчислену прямим розрахунком за такими основними статтями: матеріали (реагенти-розчинники) та електроенергія. Результати техніко-економічного аналізу наведені у табл. 1.

Розрахунок показав, що механічне подрібнення і обробка трипсином є найдешевшим методом попередньої обробки осадів. У той же час метод є найменш ефективним серед інших. Наступні по вартості кислотний та лужний гідроліз є також малоефективними методами (5,7 і 8,7 %, відповідно), проте вартість обробки 1 м<sup>3</sup> осаду за допомогою лужного гідролізу доволі висока (267 грн за 1 м<sup>3</sup>). Найбільш ефективні методи обробки — ультразвуковий та термогідроліз, водночас є найдорожчими для авіапідприємства у зв'язку з великою вартістю обладнання та великих обсягів споживання електроенергії. Базуючись на результатах техніко-економічного аналізу, є доцільним ввести критерій ефективності конкретного методу обробки осадів.

Відношення вартості обробки 1 м<sup>3</sup> осаду та збільшення глибини розпаду БР конкретного методу наведено у табл. 2.

Таблиця 1

## Відповідність вартості і ефективності різних методів попередньої обробки осадів стічних вод

Метод попередньої обробки	Найменування обладнання	Найменування реагентів	Вартість реагентів, грн/рік	Вартість обладнання, грн	Вартість електроенергії, грн/рік	Вартість обробки 1м <sup>3</sup> осаду, грн	Збільшення глибини розпаду БР у процесі ферментації, %
Механічне подрібнення і обробка трипсином	Кульовий млин МШР-2000	Фермент «Трипсин»	14600	89000	85672	34.34	2.4
Термічна обробка	Нагрівальна установка АННн-0.63-01	-	-	900000	915257	313.44	23
УЗ гідроліз	УЗ технологічний комплекс П100-35/9	-	-	2000000	1285092	440.01	20
Лужний гідроліз	Дані відсутні	Гідроксид натрію та соляна кислота для нейтралізації	779640	-	Дані відсутні	267	8.7
Кислотний гідроліз	Дані відсутні	Соляна кислота та гідроксид натрію для нейтралізації	233600	-	Дані відсутні	110.94	5.7

Таблиця 2

Метод попередньої обробки	Критерій ефективності методу, грн / %
Механічне подрібнення і обробка трипсином	14.3
Термічна обробка	13.62
Ультразвуковий гідроліз	22
Лужний гідроліз	30.68
Кислотний гідроліз	19.46

Згідно з отриманими результатами, термічна обробка та механічне подрібнення з обробкою трипсином є найбільш раціональними методами за співвідношенням «ціна-якість». Показник ефективності для лужного гідролізу свідчить про те, що метод є найменш ефективним серед інших.

### Висновки

Існуючі технології анаеробного зброджування через властиві їм недоліки не дозволяють ефективно їх використовувати на очисних спорудах авіапідприємств для переробки осадів стічних вод. Це призводить до проблем з утилізацією цих



осадів. Досліджувані методи попередньої обробки осадів дозволять інтенсифікувати цей процес, скоротити тривалість цієї стадії, і, отже, тривалість всього процесу.

Однак різні методи попередньої обробки осадів вимагають різних капіталовкладень, та мають різну вартість за обробку 1м<sup>3</sup> осаду. В результаті виконаних розрахунків встановлено, що зі збільшенням глибини розпаду БР, зростає вартість обраного методу. Введення критерія ефективності конкретного методу обробки показало, що найбільш раціональними методами є термічна обробка та механічне подрібнення з обробкою трипсином.

Досліджувані методи потребують подальшого вивчення у виробничому середовищі. Створення установок (метантенків), які зможуть реалізувати обрану технологію дозволить відкрити нові перспективи переробки осадів стічних вод авіапідприємств, отримання додаткових джерел енергії та екологічно безпечних добрив.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Седнин В. А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод / А. В. Седнин, И. Н. Прокопеня, А. А. Шимукович // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ—ЭНЕРГЕТИКА: Теплотехника. — 2009. — № 5. — С. 49–58.
2. Кущев Л. А. Теоретические аспекты процесса получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов / Л. А. Кущев, Д. Ю. Суслов, А. И. Алифанова // Science Time, 2014. — №10. — С. 258–262.
3. Шаманський С. Й. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств / С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2015. — №5/8 (77). — С. 39–45.
4. Шаманський С. Й. Технологія гідролізу органіки як стадія анаеробного зброджування осадів стічних вод авіапідприємств / С. Й. Шаманський, А. Я. Ільченко // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи. II міжнародна науково-практична конференція, 4–6 листопада 2015 р.: тези доп., Львів, 2015. — С. 314–315.
5. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко [та ін.]. — К. : Лібра, 2000. — 552 с.
6. Монахова Н. Г. Сравнение разных методов предобработки осадков сточных вод для интенсификации процесса метанового сбраживания / Н. Г. Монахова, В. Г. Коробцова, М. В. Кеврина // Водоочистка, 2013, № 1. — С. 22–28.
7. Тием А., Ультразвуковая дезинтеграция избыточного активного ила для улучшения анаэробной стабилизации / А. Тием, К. Никель, М. Зеллхорн, У. Нейс // Water Res., 2001, № 35(8). — С. 2003–2009.
8. Данилович Д. А. Влияние предварительной обработки осадков сточных вод на полноту протекания процесса метанового сбраживания / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, М. В. Кеворина, Д. В. Гусев // Вода: технологии, материалы, оборудование, экология, 2009, № 2. — С. 24–26.
9. Савельева Л. Н. Комплексная технология обработки осадков городских сточных вод / Л. Н. Савельева. — Новосибирск, 2004. — 73 с.
10. Ковалев В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгурияну, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики, 2012. — №1. — С.102–114.

Стаття надійшла до редакції 23.11.2016

УДК 665.733(045)

## КОМПАУНДУВАННЯ БЕНЗИНУ А-92 З ЕТИЛОВИМ СПИРТОМ КАВІТАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

**С. В. Бойченко**, д-р техн. наук, проф.; **В. Г. Ланецький**, канд. техн. наук, доц.;

**Л. М. Черняк**, канд. техн. наук, доц.;

**М. М. Радомська**, канд. техн. наук, доц.; **О. Г. Кондакова**, асп.

Національний авіаційний університет

E-mail: specially@ukr.net; izabellac@mail.ru

*Наведено результати дослідження впливу гідродинамічної кавітації на октанове число автомобільних бензинів. Встановлено, що результатом обробки палива кавітацією є зміна його октанового числа. Також встановлено необхідність проведення більш детального дослідження компонентного складу бензину до і після обробки кавітацією з метою встановлення структурних змін автомобільного палива, як результат впливу кавітації.*

**Ключові слова:** бензин; етиловий спирт; компаундування; кавітація.

*The influence of cavitation mixing of gasoline grade A-95 and ethanol on its octane number are considered in this article. The results of research of the influence of hydrodynamic cavitation on the octane number of gasolines are described. Defined the influence of hydrodynamic cavitation on the changes of gasolines octane number. Also defined the necessity of more detailed research of gasoline component composition before and after cavitation treatment with the purpose of defining of gasoline hydrocarbon structural changes, as a result of cavitation influence.*

**Keywords:** gasoline; ethanol; compounding; cavitation.

### Вступ

На сьогодні транспорт як галузь економіки будь-якої держави виступає одним з найважливіших чинників антропогенного впливу на навколишнє середовище. Найбільше на стан навколишнього середовища у великих містах, таких як Київ та інші міста, впливає автомобільний транспорт (рис. 1).

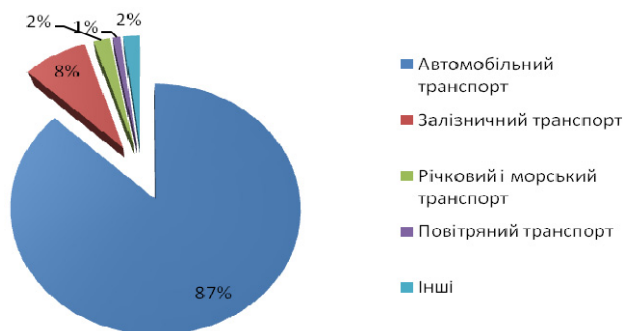


Рис. 1. Внесок різних видів транспорту в забруднення навколишнього середовища

Як стверджують автори праці [1], однією з основних екологічних проблем міста є забруднення повітря та зміна його складу внаслідок промислових та інших викидів у атмосферу, особливо підприємствами енергетичної та транспортної галузей. Індекс екологічного добробуту столиці майже в три рази менший, ніж аналогічний показник інших держав.

Відомо, що до складу відпрацьованих газів автомобільних двигунів належить більше 1000 різноманітних компонентів, з яких лише 200

ідентифіковані. Серед токсичних речовин, що викидаються автомобільним транспортом, містяться оксиди вуглецю, азоту, сірки, важких металів, канцерогенні і мутагенні сполуки, альдегіди, вуглеводні, аерозолі, сірчистий ангідрид та ін. За рік легковий автомобіль забирає з атмосферного повітря близько 4 т кисню, а замість нього викидає 3 т вуглекислого та 0,5 т чадного газів, 90–150 кг незгорілих вуглеводнів, 40 кг оксидів азоту [1–12]. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище виявляється: під час руху автомобілів; під час технічного обслуговування; під час функціонування інфраструктури, що забезпечує його дію.

На сьогодні екологічні вимоги до автомобіля і його двигуна є пріоритетними. Так, норми викидів від автотранспорту визначені директивою Європейського союзу (ЄС).

### Постановка завдання

На сьогодні поліпшення експлуатаційних та екологічних властивостей автомобільних бензинів здійснюється за допомогою різних присадок. Зокрема, із застосуванням етанолу як компонента палива. Застосування сумішей бензину з етанолом підвищує екологічну чистоту сучасного автомобільного бензину. Численні дослідження показали, що додавання до автомобільного бензину антидетонаторів, до яких відносять оксигенати (кисневмісні органічні сполуки), у тому числі й етиловий спирт, значно знижують при цьому кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах [2].

### Вирішення завдання

Існують різні технології компаундування бензинів, але переважно вони відрізняються енергозатратами, ефективністю виробництва та впливом на навколишнє середовище. Найбільш перспективна технологія компаундування палива є кавітація, яка забезпечує високий рівень гомогенності отриманої суміші, відсутність розшарування компонентів, а також збільшенню октанового числа суміші палива [3–9].

На кафедрі екології Національного авіаційного університету було проведено дослідження ефективності компаундування автомобільного бензину марки А-92 з етиловим спиртом у кількостях 5, 10, 20 %.

### Дослідна частина

Для проведення дослідження та визначення якості компаундування бензину і етилового

спирту механічним та кавітаційним способами, авторами розроблена методика їх проведення. Параметри, за якими визначалась якість компаундування були октанове число та схильність суміші до розшарування її компонентів.

Дослідження виконувались на установці рис. 2 із наступним доопрацюванням. Проба після кавітатора (генератора коливань) направлялась не до баку, а в іншу ємність.

Таким чином, суміш, що пройшла через кавітатор, не потрапляла до ємності з паливом для повторного проходження через кавітатор.

Перед початком експериментальних досліджень було відібрано дві проби автомобільного бензину марки А-92 у кількостях 250 см<sup>3</sup> і за допомогою октанометра SX-300 визначено основні параметри проби: температура (Т, °С), октанове число (RON, MON, AKI).

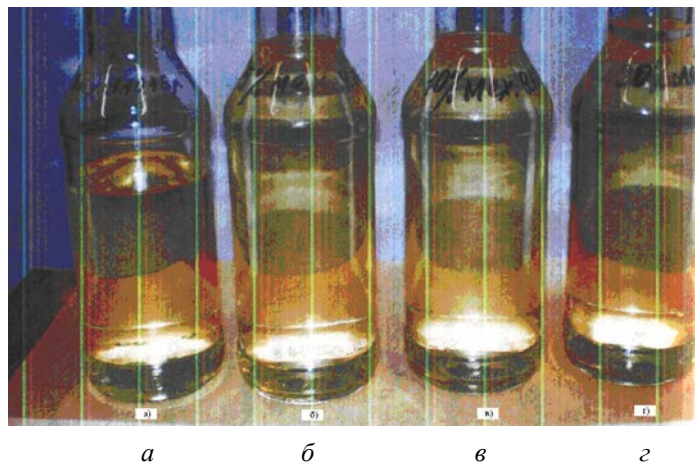


Рис. 2. Компаундування бензину А-92 і етилового спирту механічним способом:  
а — проба бензину А-92 в стані поставки; б — проба з 5 % етилового спирту;  
в — проба з 10 % етилового спирту; з — проба з 20 % етилового спирту

Також було підготовлено такі проби палива у кількості 500 см<sup>3</sup> із різним відсотковим вмістом етанолу:

а) кількість спирту при 5 % співвідношенні

$$x = 500 \cdot 5 / 100 = 25 \text{ см}^3;$$

б) кількість спирту при 10 % співвідношенні

$$x = 500 \cdot 10 / 100 = 50 \text{ см}^3;$$

в) кількість спирту при 20 % співвідношенні

$$x = 500 \cdot 20 / 100 = 100 \text{ см}^3.$$

Відповідно до розробленої методики були взяті проби бензину А-92, визначено октанове число, розрахована кількість етилового спирту з різним відсотковим співвідношенням, розлиті проби бензину і спирту в ємності та механічно змішані. Перевірка параметрів сумішей приготованих механічним і кавітаційним способами виконувалась через 5, 10 і т. д. діб.

Після відстоювання суміші були розділені. В одних октанометром SX-300 визначались: температура та октанове число (RON, MON, AKI),

після компаундування механічним способом і результати представлені в табл. 1.

Аналіз результату механічного компаундування (табл. 1) свідчить про збільшення октанового числа 5 % проби: RON на 5,8 одиниці, MON на 5,5 одиниці та AKI на 5,5 одиниць. Проба з 10 та 20% співвідношенням октанометром SX-300 показала «0,00» (нулі).

Оскільки даний пристрій не призначений для визначення октанових чисел зі значеннями більше 125 од. з порадики [пункт 3.5.6, ст. 15 «Руководство пользователя»] свідчить, що у випадку виходу параметрів проби за межі робочого діапазону дисплей висвічує значення «0,00» (нулі).

На рис. 2 наведені фотографії проб з 5, 10 і 20 % співвідношенням етилового спирту у складі автомобільного бензину марки А-92 при компаундуванні механічним способом.

Виявлений осад не був помічений у пробі бензину А-92 ні в стані поставки, ні в 5 і 10 %

пробах. У даному випадку слід провести лабораторний аналіз компонентного складу бензину, що заплановано авторами під час проведення подальших наукових досліджень впливу кавітації на якість компаундування бензину та оксигенатів.

Інші дослідні зразки кавітувались і після відстоювання октанометром SX-300 були визначені: температура та октанове число (RON, MON, AKI), після компаундування кавітаційним способом. Результати показано в табл. 2.

При кавітаційному способі компаундування здійснюється на молекулярному рівні взаємодія бензину А-92 та етилового спирту. У результаті чого октанове число проб зросло до значення

більше 125 од. та призвело до того, що SX-300 був заблокований і дисплей висвітлює у всіх трьох випадках значення «0,00» (нулі), табл. 2. Крім того в пробах було виділено значно більше прозорого осаду (у 5 % пробі — 5 см<sup>3</sup>; у 10 % пробі — 10 см<sup>3</sup>; у 20 % пробі — 20 см<sup>3</sup>) рис. 3.

На рис. 4 наведені графіки залежності октанового числа автомобільного бензину марки А-92 від способу компаундування бензину А-92 з етиловим спиртом.

На графіках чітко видно, що додавання етилового спирту збільшує октанове число суміші як при механічному способі компаундування так і при кавітаційному способі.

Таблиця 1

Механічне компаундування бензину А-92 з етиловим спиртом

Параметр	Вихідні характеристики	Вміст етилового спирту у суміші з бензином марки А-92, %		
		5	10	20
RON, од.	94,3	100,1	>125	>125
MON, од.	84,6	90,1	>125	>125
AKI, од.	89,6	95,1	>125	>125

Таблиця 2

Кавітаційне компаундування бензину А-92 з етиловим спиртом (дослід від 9.10.2015 р.)

Параметр	Вихідні характеристики	Вміст етилового спирту у суміші з бензином марки А-92, %		
		5	10	20
RON, од.	94,3	>125	>125	>125
MON, од.	84,6	>125	>125	>125
AKI, од.	89,6	>125	>125	>125



а б в з

Рис. 3. Компаундування бензину А-92 і спирту кавітаційним способом:  
а — проба бензину А-92 в стані поставки; б — проба з 5 % етилового спирту;  
в — проба з 10 % етилового спирту; з — проба з 20 % етилового спирту

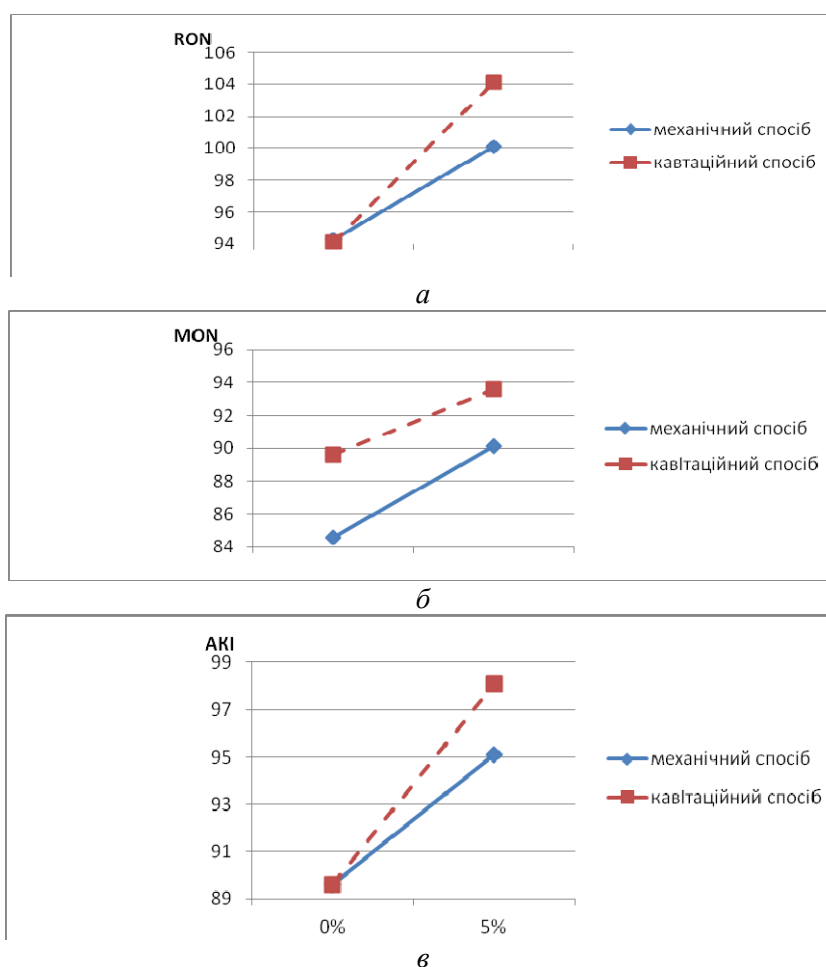


Рис. 2.4. Залежність величини октанового числа суміші бензину А-92 від способу компаундування:

а — октанове число визначене дослідним методом;  
 б — октанове число визначене моторним методом;  
 в — антидетонаційний коефіцієнт

## Висновки

Отже, у результаті виконання експериментальних досліджень встановлено, що компаундування механічним способом збільшує октанове число при 5 % етилового спирту: RON на 5,8 од., MON на 5,5 од. та АКІ на 5,5 од., а суміші 10 і 20 % етилового спирту підвищує значення октанового числа більше, ніж 125 од. Також визначено, що під час кавітаційного способу компаундування значення октанового числа більше, ніж 125 од., що призводить до блокування октанометра SX-300, у той же час у пробах присутній прозорий осад (у 5 % пробі ~ 5 см<sup>3</sup>; у 10 % пробі ~ 10 см<sup>3</sup>; у 20 % пробі ~ 20 см<sup>3</sup>). Тобто октанове число даних зразків палива вище 100 од. Отже, встановлено, що компаундування бензину А-92 і етилового спирту збільшує октанове число як при механічному, так і кавітаційному способі змішування. Однак при кавітаційному способі суміш більш гомогенна, й октанове число також більше.

Також можна зробити висновок про те, що здатність компонентів до розшарування значно менша.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Зміна клімату міста Києва: проблеми та шляхи їх запобігання*. Колективна монографія / наук. ред. д-р екон. наук, проф. чл.-кор. НАН України В. Д. Базилевич, д-р геогр. наук, проф. С. І. Сніжка. — Дніпропетровськ: Середняк Т. К., 2014. — 216 с.
2. *Етиловий спирт в моторному топливі*; под ред. В. В. Макарова. — М.: ООО «РАУ-Університет», 2005. — 184 с.
3. *Кавітація в жидкостних системах воздушних судов* / М. М. Глазков, В. Г. Ланецкий, Н. Г. Макаренко, И.П. Челюканов. — К.: КИИГА, 1987. — 64 с.
4. *Пилипенко В. В.* Кавитационные колебания / В. В. Пилипенко. — К.: Наук. думка, 1989. — 316 с.
5. *Немчин А. Ф.* Новые технологические эффекты теплопереноса при использовании кавитации / А. Ф. Немчин // Пром. теплотехника. — 1997. — Т. 19, № 6. — С. 39–47.

6. *Витенько Т. Н.* Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т. Н. Витенько, Я. М. Гумницкий // *Химия и технология воды*. — 2007. — Т. 29, № 5. — С. 422–432.

7. *Кнэпп Р.* Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. — М. : Мир, 1974. — 668 с.

8. *Балабышко А. М.* Гидромеханическое диспергирование / А. М. Балабышко, А. И. Зимин, В. П. Ружицкий. — М. : Наука, 1998. — 330 с.

9. *Витенько Т. Н.* Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств / Т. Н. Витенько, Я. М. Гумницкий // *Теор. основы хим. технологии*. — 2006. — Т. 40, № 6. — С. 639–644.

10. *Азаренкова А. О.* Перспективи та недоліки використання біоетанольної добавки до палив мо-

торних сумішевих / А. О. Азаренкова, О. Ф. Аксьонов, С. В. Бойченко // *Вісник Національного транспортного університету*. — К. : НТУ, 2014. — Вип. 30. — С. 3–8.

11. *Бойченко С. В.* Розроблення технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палива для реактивних двигунів / С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, А. О. Азаренкова, І. О. Шкільнюк. // *Вісник Національного транспортного університету*. — К. : НТУ, 2014. — Вип. 30

12. *Гарасимчук С. М.* Біохімічний метод отримання етилового спирту / С. М. Гарасимчук, А. О. Азаренкова, М. С. Бойченко, М. Н. Барановський // *Наукоємні технології*. — К. : НАУ, 2014 — Т. 21, №1. — С. 18–21

Стаття надійшла до редакції 19.11.2016

УДК 504.055(477-25)(043.2)

## ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ АКУСТИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

**В. І. Зацерковний**, д-р техн. наук, **Н. В. Оберемок**, канд. техн. наук, **Бондарь Ю. С.**

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

vitallii.zatsekovnyi@gmail.com

**І. В. Шерстюк**

НТУУ «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського

*Розглянуто основні джерела акустичного забруднення навколишнього середовища та територій мешкання населення до яких відносяться транспортна галузь, об'єкти виробничої, соціальної і побутової сфер. Питомий внесок цих джерел в акустичне забруднення варіюється в певних межах для різних міст і населених пунктів, але основним залишається транспорт і частка його постійно збільшується. Через зростання великих міст і агломерацій, розвитку транспорту і промислового виробництва проблема акустичного забруднення постала глобальним чином. Широке впровадження в промисловість нових інтенсивних технологій, зростання потужності і швидкодійності обладнання, широке використання численних засобів наземного, повітряного та водного транспорту, повсюдне застосування різноманітного електрифікованого побутового обладнання – все це призвело до того, що людина на роботі, в побуті, на відпочинку, при пересуванні постійно піддається багаторазовому шкідливому впливу шуму. Визначено основні питання моніторингу акустичного забруднення навколишнього середовища за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) та методи моделювання цього забруднення. Геоінформаційний моніторинг акустичного забруднення навколишнього середовища та територій мешкання населення пропонується розглядати як складну систему. Розглянута класифікація геоінформаційного моніторингу, обґрунтована структурна схема системи, побудовані карти акустичного навантаження міста. Наведені результати експериментальних досліджень та математичного моделювання рівнів шуму від різних чинників. Виконано адаптацію існуючих методів картографування шуму. Проаналізовано стан акустичного середовища міста на основі створеної двовимірної горизонтальної карти шуму. Запропоновано рекомендації щодо зниження акустичного навантаження в місті на його мешканців.*

**Ключові слова:** геоінформаційні системи (ГІС), шумове (акустичне) забруднення, картографування, моніторинг, методи моделювання.

*The main sources of acoustic contamination of an environment and the habitable areas, including the transport industry, the objects of industrial, the social and consumer industries, are considered. Gravity of these sources, during the acoustic contamination, varies widely for the different cities and residential area, however, the transport remains being primary and its shares is increasing continually. Due to the increase of megapolices and agglomeration, the intensive transport expansion and industry, the acoustic contamination problem is becoming global. Mainstreaming of modern high technologies in the industry, an expansion productivity of equipment, the usage of the multiple resources of land, air, railway water transports, common usage of various household electrical appliances—all these are leading to the repetitive contrarious noise, which a human suffers constantly being at work, in everyday life or on holidays. The main aspects of monitoring of environmental acoustic contamination with the help of GIS and a modelling approach of this pollution. Geoinformation monitoring of acoustic contamination of the environmental and habitable areas are supposed to be considered as a complex system. The classification of geoinformation monitoring is studied, the structural scheme of system is demonstrated, the plots of town acoustic load are compiled, the result of experimental researched and mathematics modeling of noise levels from the different factors. The adaptation of available methods of noise mapping are put into practice. The state of town acoustic conditions on the base of created two-dimensional horizontal noise profile is analysed. The instructions for the recession of town acoustic load on the inhabitants are suggested.*

**Keywords:** geographic information systems (GIS), noise (acoustic) pollution, mapping, monitoring, modeling techniques.

### Актуальність теми дослідження

До глобальних проблем сучасної екології (парниковий ефект, руйнування озонового шару, забруднення поверхневих, підземних вод, атмосфери, забруднення радіоактивними відходами, зростання несанкціонованих сміттєзвалищ, знищення тисяч видів рослин і тварин, винищення лісового покриву, стрімке виснаження запасу

корисних копалин, кислотні дощі, потепління клімату тощо) останнім часом додається ще й акустичне забруднення, рівень якого стрімко зростає. Рівень шуму підвищується приблизно на 1 дБА в рік і за останні 10 років зріс у світовому масштабі на 10–12 дБА. При цьому на долю транспорту припадає 60–80 % усіх шумів, що проникають у місця перебування людей. Шумо-

вий фон сучасного міста є недопустимо високим і досяг рівня промислових шумів.

### Актуальність проблеми

Сьогодні вже є розуміння того, що акустичне забруднення — одна з найбільш серйозних проблем негативного антропогенного впливу на людину.

Понад 30 % жителів великих міст нашої країни живуть в умовах акустичного дискомфорту, параметри якого значно перевищують допустимі норми [1].

На головних магістралях деяких великих міст рівні шумів перевищують 90 дБ і мають тенденцію до посилення щорічно на 0,5 дБ, що спричиняє величезну небезпеку для навколишнього середовища в зоні жвавих транспортних магістралей.

Боротьба з шумом в центральних районах міст ускладнюється через щільність забудови, через яку неможливі будівництво шумозахисних екранів, розширення магістралей і висадка дерев. А оскільки фізіологічно-біохімічна адаптація до шуму неможлива, то це спричиняє погіршення сну і фізичного стану людей, підвищенню числа захворювань.

Сьогодні, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я близько 2 % всіх смертей у світі спричинено захворюваннями, пов'язаними з надмірним шумом [3].

Незважаючи на це, проблемі акустичного забруднення в Україні приділяється вкрай недостатня увага. Існуючі стандарти щодо акустичного забруднення не мають достатнього сучасного технічного, правового та соціально-економічного обґрунтування. Наведене свідчить про актуальність дослідження.

Актуальною задачею організації ефективного акустичного моніторингу, є впровадження в систему моніторингу геоінформаційних технологій та розробка ефективних заходів щодо зменшення шуму, моделювання процесів поширення звуку на шляху від джерела до об'єкту, розробка різноманітних шумозахисних заходів і засобів.

Висвітлення проблеми в науковій літературі

Проблемам акустичного забруднення присвячені праці Абракітова В. Е., Дмитрука О. Ю., Ковальчука І. П., Самойлюка Е. П., Сторожука В. М., Поспелова П. І., Майера В. В.

Проте, визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що проблема впровадження геоінформаційних технологій в систему моніторингу акустичного забруднення ще далека від свого завершення і потребує глибокого системного опрацювання необхідності їх застосування.

### Виклад основного матеріалу

Шум класифікують: за характером спектра — на широкосмуговий з безперервним спектром шириною більше однієї октави і тональний, в спектрі якого є дискретні тони; за спектральним складом — на низькочастотний (максимум звукової енергії припадає на частоти нижче 400 Гц), середньо-частотний (максимум звукової енергії на частотах від 400 до 1000 Гц) і високочастотний (максимум звукової енергії на частотах вище 1000 Гц); за часовими характеристиками — на постійний (рівень звуку змінюється в часі але більш ніж на 5 Дб) і непостійний. До непостійного шуму відносяться коливний шум, при якому рівень звуку безперервно змінюється у часі; переривчастий шум (рівень звуку залишається постійним протягом інтервалу тривалістю 1 с і більше); імпульсний шум, що складається з одного або декількох звукових сигналів тривалістю менше 1 с [2].

Джерела шуму поділяють на дві великі групи — внутрішні і зовнішні. Внутрішні: інженерне, технологічне, побутове та санітарно-технічне обладнання будівель і споруд. Зовнішні: транспортні засоби (наземні, водні, залізничні, повітряні), промислові та енергетичні підприємства і установи, а також різні джерела шуму всередині кварталів, пов'язані з життєдіяльністю людей [2]. Крім того, всі шуми можна згрупувати в дві групи: природні та штучні. Природні шуми — це приємні шуми прибою, спів птахів, гуркіт грому тощо. Штучні шуми — шуми викликані господарською, технічною і соціально-культурною діяльністю людини і суспільства.

Питома вага кожного з джерел варіюється в певних межах для різних міст і населених пунктів, але основним шумовим забруднювачем навколишнього середовища залишається автомобільний транспорт. Крім того, широке впровадження в промисловість нових інтенсивних технологій, зростання потужності і швидкохідності обладнання, широке використання численних засобів наземного, повітряного та водного транспорту, повсюдне застосування різноманітного електрифікованого побутового обладнання — все це призводить до того, що людина на роботі, в побуті, на відпочинку, при пересуванні піддається багаторазовому шкідливому впливу шуму. Шумове (акустичне) забруднення — дратівливий шум антропогенного походження, що порушує життєдіяльність живих організмів і людини.

Шуми спричиняють шкоду здоров'ю; шум викликає зміни в роботі надниркових залоз, гіпофізу, відображається на розвитку пристосувальних та регуляторних реакціях організму.



Дія шуму на людину відображається в широкому діапазоні — від суб'єктивного роздратування до об'єктивних змін у центральній нервовій системі, органах слуху, серцево-судинних та ендокринних системах, травному акті та інших органах. Першим показником шкідливої дії шуму є скарги на роздратованість, переживання, порушення сну. Фізіологічно-біологічна адаптація людини до шуму практично неможлива [4].

Зростання чисельності транспорту, транспортної рухливості населення, індустріалізація міст, підвищення технічного оснащення міського господарства, звукової реклама в різних закладах і установах спричиняє загострення цієї проблеми.

У відкритому просторі звук вільно розповсюджується у всіх напрямках. Швидкість розповсюдження залежить від пружних властивостей матеріального середовища, у якому вони розповсюджуються. Чим більш пружним є середовище, тим більше швидкість розповсюдження звука. В повітрі швидкість розповсюдження звука при температурі 20 °С дорівнює 344 м/с. Залежність швидкості звука в повітрі від температури може бути виражена так:

$$C = C_0 \sqrt{\left(1 + \frac{t}{273}\right)},$$

де  $C_0$  — швидкість звука при  $t = 0$  °С становить 333 м/с;  $t$  — температура повітря, град С.

Для нормальних температурних умов ( $t = 15$  °С) швидкість звука в повітрі дорівнює 340 м/с. У денний час температура понижується з висотою, тому відбувається рефракція звукового променя вгору і, навпаки, ніччю при тихій погоді звукові промені прижимаються до землі.

Швидкість звука зростає, якщо звук розповсюджується за напрямком вітру, і, навпаки, при розповсюдженні звука проти вітру, швидкість його зменшується порівняно зі швидкістю при нерухомому стані повітря. При цьому також спостерігається рефракція звука. З навітряного боку від джерела звука утворюється зона звукової тіні, а рівень звукового тиску може різко зменшитись на 20–30 дБ. Утворення звукової тіні з навітряного боку є характерним для денних умов. Уночі зона звукової тіні утворюється рідко (з підвітряної сторони). Остання обставина є однією з причин гарної чутності уночі. Звукові хвилі можна екранувати, фокусувати і направляти в певний бік аналогічно світловим променям. Звук характеризується доволі великою довжиною хвилі. Цю обставину необхідно враховувати при проектуванні, наприклад, екранів (рис. 1), оскільки здатність звукових хвиль до дифракції (огинання пе-

решкод) залежить від співвідношення між розміром перешкоди і довжиною хвилі.

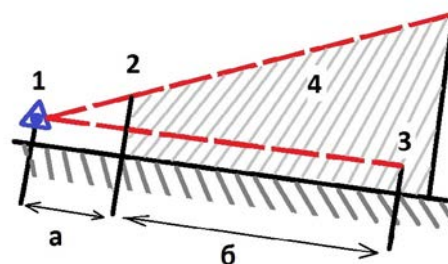


Рис. 1. Схема розповсюдження звука за екраном: 1 — джерело звука; 2 — екран; 3 — точка спостереження; 4 — зона звукової тіні

Звукова тінь, що утворюється за екраном буде тим більше, чим менше буде довжина звукової хвилі порівняно з розміром перешкоди (рис. 2).

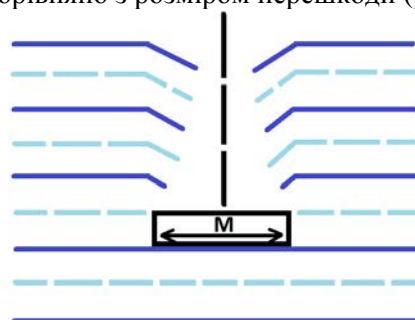


Рис. 2. Схема утворення звукової тіні під час розповсюдження плоских звукових хвиль

Основними внутрішніми джерелами техногенного шуму в будинках різного призначення є технологічне і інженерне обладнання. Головними джерелами зовнішнього техногенного шуму є потоки автомобільного, рейкового, водного, повітряного транспорту, промислові підприємства та їх окремі установки, комунально-складські і транспортні підприємства, трансформаторні і газорозподільні підстанції, центральні теплові пункти, насосні і компресорні станції, будмайданчики, гаражі, автостоянки тощо.

Джерелами зовнішнього біогенного шуму є стадіони, базари, майдани для мітингів, танцмайданчики, відкриті майданчики культурно-масового відпочинку, портмайданчики, дискотеки, зоопарки, тваринницькі ферми тощо.

Акустичний розрахунок повинен містити такі етапи:

- виявлення джерел шуму і визначення їх шумових характеристик;
- визначення і подання джерела шуму як відповідної імітаційної розрахункової моделі (точка, лінія, площина);
- встановлення розрахункових точок в приміщенні або на території, для яких необхідно виконати акустичний розрахунок;
- визначення шляхів поширення шуму від джерела (джерел) до розрахункових точок і зако-

номірностей його поширення за кожним із шляхів (зниження рівня шуму завдяки віддаленню від джерела, затуханню, екрануванню, ізоляції огорожувальними конструкціями, звукопоглинанням або підвищенню рівня шуму за рахунок відбитих звукових хвиль тощо);

– визначення очікуваних рівнів шуму в розрахункових точках;

– визначення допустимих октавних рівнів звукового тиску і рівнів звуку для вибраних розрахункових точок з урахуванням призначення об'єкта, місця його розташування і характеру шуму;

– визначення необхідного зниження октавних рівнів звукового тиску в дБ (або рівнів звуку в дБА) у розрахункових точках;

– розроблення та обґрунтування заходів із забезпечення необхідного зниження рівнів шуму;

– проведення перевірного розрахунку очікуваних рівнів шуму в розрахункових точках з урахуванням розроблених шумозахисних заходів з метою визначення їх достатності [4, 5].

До останнього часу для розв'язання завдання побудови карт шуму переважно використовувались інженерні методики розрахунку [6–8], що передбачали ручну працю фахівця для оцінки впливу шуму.

Сьогодні існує низка програмних комплексів, які дозволяють здійснювати комп'ютерне моделювання примігстральної території і визначити ступінь шумового забруднення (рис. 3).

Алгоритми	2D/3D	Вид моделі	Приміщення/Відкритий простір	Сфера застосування	Особливості алгоритмів
FEM/BEM (метод кінцевих елементів)	+/-	Сіткова	+/-	Розв'язання будь-яких задач з моделювання звукових хвиль	Експоненційне зростання трудомісткості при збільшенні частоти звука
Radiosity (метод випромінювання)	±/+	Набори майданчиків	+/-	Моделювання енергетичного переносу.	Неоднозначність при розв'язці на майданчик; Ітеративність; складність розрахунку дифракції.
Image source (метод уявних джерел)	+/-	Векторна	+/-	Розрахунок прямих променів і відбиттів	Необхідне ефективне відкидання віртуальних джерел
Forward Ray tracing (пряме трасування променів)	+/+	Векторна; набори майданчиків	+/+	Розрахунок прямих променів, відбиттів і дифракції	Недетерміноване випромінювання променів
Backward Ray tracing (обернене трасування променів)	±/+	Векторна	+/+	Розрахунок дифракції неможливий	Необхідність обмеження перевідбиття
Distributed Ray Tracing (усереднене трасування променів)	±/+	Векторна	+/+	Високоточне геометричне моделювання	Необхідність усереднення результатів
Beam Tracing (трасування пучків)	+/+	Векторна, модель пучків	+/-	Розрахунок прямих променів і відбиттів	Проблеми точності при пошуку перетинів пучків і майданчиків
Обернене трасування на растрі	+/-	Растрова	+/-	Розрахунок тільки прямих променів	Залежність точності від розміру комірки растра
Пряме трасування на векторно-растровій моделі	+/-	Векторно-растрова	+/-	Розрахунок прямих променів і відбиттів	Ітеративність, Необхідність у значній суттєвій попередній обробці

Рис. 3. Алгоритми розрахунку розповсюдження звукових хвиль

Однак, відсутність детальних цифрових моделей місцевості, які б дозволяли здійснювати точне моделювання процесу розповсюдження звуку, перешкоджає впровадженню подібних програмних продуктів у містобудівну діяльність нашої країни. Крім того, висока трудомісткість цих методів потребує відповідного апаратного забезпечення.

У випадках, коли безпосереднє моделювання процесу розповсюдження шуму не є доцільним, може бути використаний підхід, що ґрунтується на використанні статистичних оцінок, які характеризують типові джерела транспортного шуму в містах і особливості розповсюдження звукових хвиль на сельбищній території.

Зростаючі вимоги до ефективності системи моніторингу акустичного забруднення потребують безперервного удосконалення систем інформаційного забезпечення. Як свідчить практика, тільки інформаційні системи інтегровані з ГІС, спроможні ефективно упоратися з поставленим завданням. Геоінформаційні системи здатні забезпечити органи територіального управління засобами для відображення і розуміння того, що знаходиться в одному конкретному або багатьох місцях розташування, надати інструменти моде-

лювання ресурсів, виявлення взаємозв'язків, процесів, залежностей, прикладів, загроз і ризиків. Саме тому ГІС повинні стати ядром автоматизованої системи моніторингу акустичного моніторингу (рис. 5).

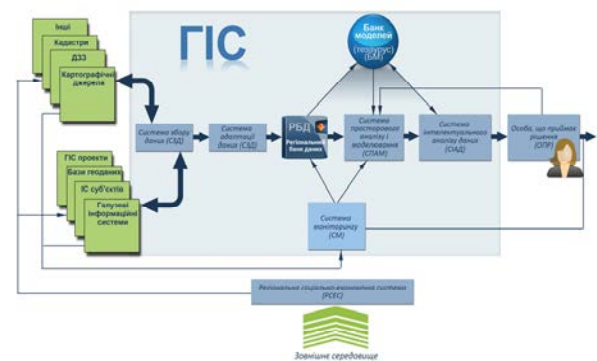


Рис. 5. ГІС як ядро автоматизованої системи акустичного моніторингу

Ефективність застосування ГІС в задачах акустичного моніторингу акустичного забруднення є неzapеречною для прийняття оперативних заходів, а також моніторингу і моделювання [9].

Застосування ГІС у системі моніторингу акустичного забруднення забезпечить:

– підвищення ефективності управління територіями на різних рівнях за рахунок широкого використання інформаційних ресурсів просторових даних при прийнятті управлінських рішень і контролі їх виконання;

– сприянню соціально-економічному розвитку певної території через підвищення можливостей інформаційного забезпечення за рахунок надання більш повної, актуальної і достовірної інформації про потенційні об'єкти акустичного забруднення;

– підвищення якості просторових даних, зниження бюджетних витрат на створення бази просторових просторових даних за рахунок виключення дублювання робіт з їх створення;

– надання просторових даних і метаданих споживачам за єдиними правилами.

Здатність ГС інтегрувати просторові і непросторові дані, разом з функціями аналізу і моделювання процесів, дозволяє використовувати цю технологію як загальну платформу для інтеграції соціально-економічних та екологічних процесів у масштабах усього регіону або певного територіального утворення [9].

ГС, виходячи з комплексного географічного опису території, виступають, певним надбудовним елементом відносно систем інформаційно-просторового моделювання та їх логічного розвитку. За допомогою ГС може бути організований ефективний доступ до великих об'ємів інформації про об'єкти, що мають просторову прив'язку. У зв'язку з цим їх структура та інші характерні особливості багато в чому визначаються сформованою системою організаційно-просторової інформації на певній території стосовно вирішення того чи іншого типу задач. Тому в процесі створення ГС першорядне значення набуває розробка географічних (тематичних) основ інформаційної побудови складних просторово-часових об'єктів, призначених для реалізації цілей системи управління. Однак ГС, це не інструмент для видачі рішень, а засіб, що допомагає прискорити і підвищити ефективність прийняття рішень. ГС здатні дати відповіді на запити і функції аналізу просторових даних, наприклад, у розв'язанні таких задач, як вибір оптимальних за певними критеріями місць розташування об'єктів, екранів тощо.

Просторово-часовий аналіз дозволяє виявити територіальний розподіл об'єктів географічного простору, їх сталі комбінації, районувати, будувати і прогнозувати оптимальну модель територіальної організації території [10]. Система методів просторово-часового аналізу забезпечує комплексну оцінку статистики, динаміки і прогнозу розвитку акустичного забруднення території у

вигляді його просторово-часових моделей, що відображуються на картах.

Карти створюють просторовий образ акустичного забруднення. Як приклад, на рис. 6. наведено забруднення центральної частини м. Києва за даними праці [4].



Рис. 6. Карта забруднення центральної частини м. Києва

Рівні шуму на Хрещатику складають 65–75 децибел, що значно вище за нормативні значення. Зони перевищення шуму вказані на ній помаранчевим і червоним кольором. Джерело таких високих рівнів шуму — дуже інтенсивні транспортні потоки.

Інтеграція ІС управління територіями з ГІТ, експертними системами, використання сучасних прикладних методів геопросторового аналізу дозволяють створити нові підходи в управлінні територіями, забезпечуючи прийняття оптимальних рішень. За допомогою ГС можна створювати бази даних (БД), що поєднують у собі графічне та атрибутивне подання різномірної інформації і забезпечують можливість просторового аналізу даних і подання його результатів у найбільш прийнятній для користувачів у лаконічній формі (у вигляді графіків, діаграм, таблиць, карт та їх симбіозі тощо).

Наявність доступної для сприйняття і узагальнення інформації дозволяє особі, що сприймає рішення зосередити свої зусилля на пошуку і обмірковуванні доступних різномірних даних, розгляді альтернативних варіантів розв'язку проблеми і обрати найбільш ефективний і економічно доцільний.

Однак, застосування ГС в задачах моніторингу акустичного забруднення передбачає її оптимізацію для ефективного розв'язання поставлених задач.

Задача оптимізації ГС належить до числа нетривіальних задач і ґрунтуються на класичних і сучасних математичних методах варіаційного числення, теорії статистичних рішень, теорії ігор, теорії дослідження операцій, теорії інформації, теорії ймовірності, методі Понтрягіна, методі динамічного програмування Беллмана тощо.

На рис. 7 представлений алгоритм для оцінки ефективності і оптимізації ГС. З рисунка видно, що процес розробки загальної теорії ефективності і оптимізації ГС є замкнутим з множиною місцевих зворотних і прямих зв'язків, які виявляються і уточнюються як при розробці теорії, так і в процесі проектування.

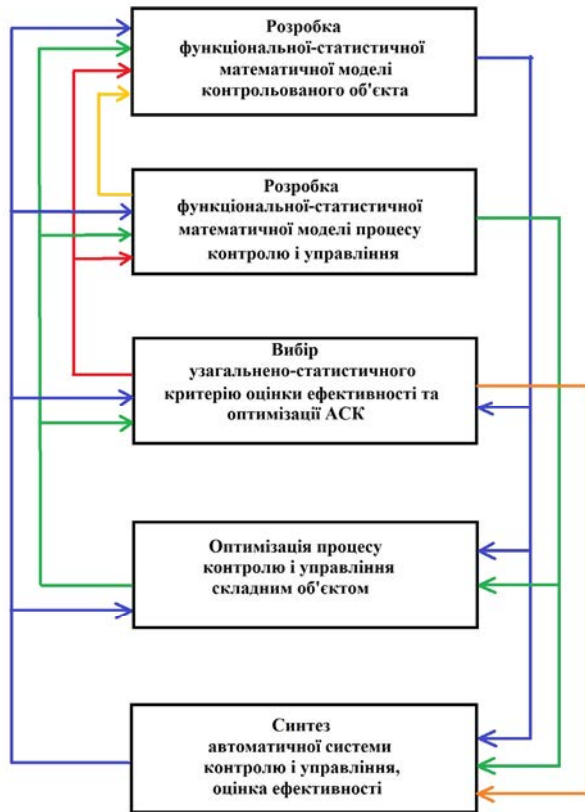


Рис. 7. Алгоритм оцінки ефективності і оптимізації ГС

Складність процесу моніторингу акустичного забруднення зумовлюється головним чином складністю об'єктів моделювання. Для опису функціонування об'єктів моделювання доцільно побудувати математичну модель об'єкта дослідження.

Найбільш повно стан об'єкта дослідження характеризує його математична функціонально-статистична модель.

Під математичною функціонально-статистичною моделлю розуміється система рівнянь, яка описує залежність параметрів об'єкта дослідження, ГС від зовнішніх і внутрішніх впливів при функціонуванні. На основі аналізу цієї моделі виявляється можливим сформулювати основні завдання, які вирішуються ГС при моніторингу об'єкта, а також синтезувати оптимальну структуру ГС.

При побудові математичної функціонально-статистичної моделі моніторингу акустичного забруднення необхідно враховувати те, що вона

включає в себе різноманітні класи і види систем. Ці системи можуть бути автономними і неавтономними, замкнутими і розімкнутими, стаціонарними і нестаціонарними, безперервними і дискретними. Тому доцільно використовувати загальний математичний апарат, який при відповідних змінах може бути поширений на різноманітні часткові випадки.

Крім того, при побудові математичної функціонально-статистичної моделі об'єкта ураховуються основні параметри критеріїв, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю. До таких параметрів відносять:

- час перебігання процесу в цілому і його складових;
- імовірність безвідмовної роботи і ймовірності виконання завдання різними системами, що входять до об'єкта дослідження і систему моніторингу;
- точність роботи різних систем, їх вага, об'єм, вартість, споживана енергія та інші важливі показники.

Збурений стан об'єкта дослідження при моніторингу і управлінні можна описати системою рівнянь, яка є в загальному випадку математичною функціональною моделлю [10].

$$\sum_p^m M_{lp}(t, \tau, d/dt, Q)x_p = F_l(t, \tau, X, Z);$$

$$l = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

де  $X\{x_1, \dots, x_m\}$  — вектор випадкових функцій часу, який характеризує вихідні параметри об'єкта дослідження;  $Z\{\zeta_1, \dots, \zeta_k\}$  — вектор випадкових функцій часу, який характеризує зовнішні і внутрішні збурення і керуючі впливи;  $F_l$  — нелінійна функція;  $M_{lp}(t, \tau, d/dt, Q)$  — багаточлен відносно операторів диференціювання  $d/dt$  зі змінним у часі вектором коефіцієнтів  $Q\{q_1, \dots, q_n\}$ ;  $t$  — поточне значення часу;  $\tau$  — момент часу, до якого ведеться дослідження об'єкта.

У процесі моніторингу стан будь-якої динамічної системи, яка перебуває під впливом керуючих сигналів і збурень, визначається вихідними параметрами, певним чином пов'язаними з впливами на систему через відповідний системі рівнянь (1) вектор-оператор динамічної системи, заданий або сукупністю математичних операцій  $A_{lp}(t, \tau, X, Z, Q)$ , або сукупністю лінійних чи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{dx_i}{dt} = F_{0i}(t, \tau, X, Z) \quad i = 1, 2, \dots, m'; \quad (2)$$

$$\xi_j = \sum_{i=1}^{k'} \xi_{ij}^0(t, \tau, X) \bar{\xi}_i,$$

де  $\xi_{ij}^0$  — не випадкові координатні функції;  $\bar{\xi}_i$  — випадкові коефіцієнти;  $F_{0i}$  — не випадкова нелінійна функція.

Кожній групі номінальних умов при  $t = \tau_0$ ,  $\xi_{01}, \dots, \xi_{0k}$  з номінальної області  $G_0$  і початкових умов  $x_{01}, \dots, x_{0m'}$  відповідає свій розв'язок системи рівнянь (2):

$$x_{i0} = \varphi_{i0}(\tau_0, \tau, x_{01}, \dots, x_{0m'}, \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k'}). \quad (3)$$

Кожній групі реальних умов у моменти часу  $t = \tau_1, x'_{01}, \dots, x'_{0m'}, \bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_{k'}$   $t = \tau_1$ , реальній області  $G_1$  відповідає реальне рішення системи рівнянь (1)

$$x_i = \varphi_i(x'_{01}, \dots, x'_{0m'}, \bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_{k'}, \tau_1, \tau) \quad (4)$$

Система рівнянь (2) як за числом нелінійних операторів, так і за числом вихідних параметрів може розпадатися на  $m$  окремих рівнянь.

Для простоти будемо вважати, що кількість вихідних параметрів дорівнює кількості операторів, хоча, взагалі їх може бути більше. Для  $i$ -го параметра система рівнянь (1) вироджується в рівняння

$$M_{ip}(t, \tau, d/dt, q, \dots, q_n)x_p = F_i(t, \tau, x_i, \bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_{k'}). \quad (5)$$

Розгляд рівняння збуреного стану об'єкта дозволяє виконати функціональний аналіз стану об'єкта, синтез системи контролю і оцінку її ефективності. Однак більш повною характеристикою статичного і динамічного стану об'єкта є ймовірнісний опис за допомогою законів розподілу ймовірностей параметрів елементів вхідних впливів, вихідних параметрів і векторів-операторів. Оскільки ймовірності раптових відмов визначаються за відомими формулами теорії надійності, то основна увага звертається на визначення ймовірності появи поступових відмов.

Для визначення ймовірності поступових відмов можуть бути використані три математичні моделі:

- математична модель, заснована на методі інтегрування диференціальних рівнянь;
- математична модель, заснована на методі Монте-Карло;
- математична модель, заснована на методі квазілінійних збурень.

Під методом інтегрування диференціальних рівнянь розуміється метод прямого обчислення багатовимірних щільностей ймовірностей вихідних параметрів об'єкта дослідження за допомогою інтегрування змінних, які є математично вираженими щільностями ймовірності.

Метод Монте-Карло полягає в багаторазовому виборі випадкової величини параметрів системи

з наступним визначенням закону розподілу вихідних параметрів об'єкта дослідження.

Метод квазілінійних збурень полягає у поданні вихідних параметрів у вигляді ряду Тейлора з наступним визначенням закону розподілу ймовірностей вихідних параметрів.

Для визначення диференціального закону системи випадкових вихідних параметрів  $x_1(t), \dots, x_{m'}(t)$  можна скористатися методикою, описаною в праці [10].

Якщо припустити, що отримані рішення (3), відомий диференціальний закон розподілу ймовірностей

$$f_0(x_1(t), \dots, x_{m'}(t), \bar{\xi}_{01}, \dots, \bar{\xi}_{0k'}, \tau_0, \tau)$$

системи випадкових величин  $x_{01}, \dots, x_{0m'}$  функція  $F_{0i}$  має кусково-безперервні часткові похідні за координатами  $x_i$ , рішення системи рівнянь (2)  $\varphi_i$  мають другі часткові похідні за  $x_i$  і  $t$  і, крім того, рішення мають перші похідні за  $\bar{\xi}_i$ , то диференціальний закон розподілу системи випадкових величин  $x_1, \dots, x_{m'}$ , визначається рівністю [11, 12]

$$f(x_1, \dots, x_{m'}, t, \tau) =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \dots (k') \dots \int_{-\infty}^{\infty} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_{k'}.$$

Якщо врахувати границі змін величин  $\bar{\xi}_1, \dots, \bar{\xi}_{k'}$ , то рівняння (5) можна переписати у такому вигляді:

$$f(x_1, \dots, x_{m'}, t, \tau) =$$

$$= \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots (k') \dots \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_{k'},$$

де  $\eta_j = \varphi_j[\tau_0, \tau, \varphi_\gamma(\tau, \tau_0, x_\sigma, \bar{\xi}_v), \bar{\xi}_v]$  при індексах  $j, \gamma, \sigma$ , що пробігають значення  $1, 2, \dots, m$ , а  $v$  пробігає значення  $1, 2, \dots, k'$ .

Для визначення закону розподілу перехідної функції об'єкта дослідження необхідно на його вхід продати стрибкоподібні впливи і визначити закон

$$f(h_1, \dots, h_{m'}, t, \tau) =$$

$$= \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} \dots (k') \dots \int_{-\bar{\xi}_{1\min}}^{\bar{\xi}_{1\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\xi}_1, \dots, d\bar{\xi}_{k'}.$$

Для визначення диференціального  $m'$ -вимірного закону розподілу імпульсних функцій можна скористатися якобіаном перетворення  $I(f_h \rightarrow f_w)$  з урахуванням того, що

$$w(t, \tau, X, Z, Q) = h'(t, \tau, X, Z, Q).$$

Диференціальний закон розподілу передаточної функції амплітудних і фазочастотних харак-

теристик визначаються при гармонійних впливах на об'єкт.

Тоді отримуємо закон розподілу передаточної функції об'єкта:

$$f(W_1, \dots, W_{m'}, t, \tau) = \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} \dots (k') \dots \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\zeta}_1, \dots, d\bar{\zeta}_{k'}$$

закон розподілу амплітудно-частотної характеристики об'єкта:

$$f(A_1, \dots, A_{m'}, t, \tau) = \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} \dots (k') \dots \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\zeta}_1, \dots, d\bar{\zeta}_{k'}$$

закон розподілу фазочастотної характеристики об'єкта:

$$f(\varphi_1, \dots, \varphi_{m'}, t, \tau) = \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} \dots (k') \dots \int_{-\zeta_{1\min}}^{\zeta_{1\max}} f_0 \exp \left\{ - \int_{\tau_0}^t \sum_{j=1}^{m'} \frac{\partial F_{0j}}{\partial \eta_j} d\tau' \right\} d\bar{\zeta}_1, \dots, d\bar{\zeta}_{k'}$$

Таким чином, теоретично виявляється можливим достатньо точно визначити  $m'$ -вимірні диференціальні закони розподілу вихідних параметром і векторів-операторів. Однак виконати інтегрування у явному виді можна тільки тоді, коли щільність імовірності є простою аналітичною функцією випадкових параметрів. Зі зростанням кількості параметрів і складності аналітичних функцій застосування методу викликає істотні математичні труднощі.

Для складних об'єктів з нелінійностями при ймовірнісному аналізі, для практичних задач іноді достатньо оцінювати тільки перші два моменти вихідних параметрів: математичне очікування і кореляційну функцію або дисперсію. Ці моменти дозволяють повністю визначити закон розподілу ймовірностей, який приблизно можна вважати нормальним.

Система диференціальних рівнянь збуреного стану об'єкта в узагальненій формі подається у вигляді [10]:

$$\begin{cases} \sum_{\rho=1}^m M_{l\rho} \left( t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right) x_\rho = F_l(X, Z, t, \tau) + \varphi_l(Z_l); \\ Z_l = \sum_{i=1}^{S_l} a_i^l x_i + \sum_{j=1}^{N_l} c_j^l \zeta_j; l = 1, \dots, m \end{cases} \quad (6)$$

де  $a_i^l, c_j^l$  — постійні коефіцієнти;  $X \{x_1, \dots, x_m\}$  — вектор випадкових функцій параметра  $t$ , який визначає рух об'єкта;  $Z \{\zeta_1, \dots, \zeta_k\}$  — вектор збурень, який є випадковою функцією параметра  $t$ ;  $F_l$  — нелінійні функції, які припускають лінеаризацію відносно певного режиму руху об'єкта в межах робочих діапазонів величин або функцій;

$\varphi_l$  — нелінійні функції, які не припускають звичайної лінеаризації;  $M_{l\rho}$  — поліноми відносно оператора диференціювання зі змінними у часі коефіцієнтами;  $S_l$  — кількість параметрів, які визначають поведінку об'єкта;  $N_l$  — кількість діючих збурень.

Після відповідних перетворень утворюється лінійна система рівнянь для визначення математичного очікування випадкових функцій:

$$\begin{cases} \sum_{\rho=1}^m M_{l\rho} \left( t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right) m_{xp} = F_l(t, \tau, m_x, m_l) + K_0^l m_l; \\ m_l = \sum_{i=1}^{S_l} a_i^l m_{xi} + \sum_{j=1}^{N_l} c_j^l m_{cj} \end{cases} \quad (7)$$

і система рівнянь для визначення випадкових складових функцій:

$$\begin{cases} \sum_{\rho=1}^m M_{l\rho} \left( t, \tau, \frac{d}{dt}, Q \right) x_\rho^0 = \sum_{\mu=1}^m \left[ \frac{\partial F_l}{\partial m_{x\mu}} \right]_0 x_\mu^0 + \sum_{j=1}^{N_l} \left[ \frac{\partial F_l}{\partial m_{cj}} \right]_0 \zeta_j^0 + K_1^l z_l^0; \\ z_l^0 = \sum_{i=1}^{S_l} a_i^l x_i^0 + \sum_{j=1}^{N_l} c_j^l \zeta_j^0, \end{cases} \quad (8)$$

де  $K_0^l$  і  $K_1^l$  — статистичні коефіцієнти посилення [10].

Проінтегрувавши системи рівнянь (7) і (8), наприклад методом послідовних наближень, визначимо математичне очікування, кореляційні функції і дисперсії вихідних параметрів.

Цей метод наближеного розв'язку застосовується тоді, коли метод гармонійної лінеаризації не дає бажаних результатів.

Система диференціальних рівнянь збуреного стану об'єкта подається у формі (6). Оскільки методика лінеаризації нелінійних систем зі змусеними коливаннями аналогічна методиці лінеаризації нелінійних систем, які працюють в автоколивальному режимі, то можна обмежитись викладенням методу лінеаризації систем з автоколиваннями.

### Висновки

Застосування ГІТ у разі прийняття управлінських рішень в задачах моніторингу акустичного забруднення, залежно від застосування, за оцінками фахівців дозволяє заощадити від 1 до 10 % бюджетних коштів [9].

Через зростання акустичного забруднення у великих містах відбувається розробка ефективних заходів щодо боротьби зі шкідливою дією шуму, що базується на рішенні проблеми моделювання процесів поширення звуку на шляху від джерела до об'єкту, та надає можливість проектувати різноманітні шумозахисні заходи й засоби саме на стадії проектування об'єкта, тобто коли він ще не існує в натурі.

Обґрунтовано необхідність оптимізації ГІС для геоінформаційного картографування акустичного забруднення, яка буде використовуватись для подальшого обґрунтування прийняття ефективних управлінських рішень щодо зменшення цього забруднення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Апостолук С. О.* Промислова екологія: навч. пос. / С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін.; під ред. С. О. Апостолук. — 2-е вид. — К. : Знання, 2012. — 456 с.
2. *Іванов Н. И.* Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н. И. Иванов. — М.: Университетская книга, Логос, 2008. — 424 с
3. *Електронний* ресурс:  
[http://www.nbuv.gov.ua/old\\_jrn/Soc\\_Gum/NZTNPU/geogr/2009\\_2/5/001Petlin.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/NZTNPU/geogr/2009_2/5/001Petlin.pdf)
4. *Самойлюк Е. П.* Борьба с шумом в градостроительстве. Киев, «Будивельник», 1975, 128 с.
5. *Абракітов В. Е.* Картографування шумового режиму центральної частини міста Києва: монографія / В. Е. Абракітов. — Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. — Х. : ХНАМГ, 2012. — 230 с
6. *ДБН В.1.1-31:2013.* Захист територій, будинків і споруд від шуму. — К. : Мінрегіон України. 85 с.
7. *Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення»*
8. *Борьба с шумом в городах: Совм. сов.-фр. изд.* / В. Н. Белоусов, Б. Г. Прутков, А. П. Шицкова и др. — М. : Стройиздат, 1987. — 248 с.
9. *Зацерковний В. І.* ГІС і бази даних / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. — Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. — 492 с.
10. *Казаков И. Е.* Статистическая динамика нелинейных автоматических систем / И. Е. Казаков, Б. Г. Доступов. — Физматгиз, 1962. — 332 с.
11. *Спирина М. С.* Теория вероятностей и математическая статистика / М. С. Спирина, П. А. Спирин. — М. : Академия, 2011. — 352 с.
12. *Андерсон Т.* Введение и многомерный статистический анализ / Т. Андерсон. — Физматгиз, 1963.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2016

# ЕКСПЛУАТАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО ТРАНСПОРТУ

УДК 629.735.083.06 (045)

## ПОБУДОВА, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ І ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АВІОНІКИ СУЧАСНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

\* **В. П. Захарченко**, канд. техн. наук, доц., \* **С. С. Ільєнко**, канд. техн. наук, доц.,  
\*\* **О. Ю. Курганський**, \*\* **В. В. Мухін**

\* Національний авіаційний університет

\*\* ДП Антонов

*Розробка централізованих бортових систем діагностики і вбудованих систем контролю функціонування складних автоматизованих комплексів сучасних повітряних суден (ПС) на етапі проектування та використання їх під час льотної та технічної експлуатації при технічному обслуговуванні та ремонті (ТО і Р) дозволяє зменшити кількість випадкових відмовних ситуацій в польоті до майже неможливих. Це, в свою чергу вплинуло на глобальну стратегію підвищення безпеки польотів (стратегія ІСАО) та дозволило зменшити час обслуговування ПС при підготовці до польотів. Ця складна, багатогранна задача вирішується за рахунок своєчасного інформування, як пілотів під час польоту, так і технічного персоналу під час обслуговування ПС «на землі». ТО і Р за допомогою централізованих бортових систем діагностики та вбудованих систем контролю (ВСК) щодо функціональних систем (ФС) сучасних ПС дає можливість отримати інформацію про стан та відмови ФС та відреагувати інженерно-технічному персоналу в стилі строки з можливістю дистанційного опрацювання даних про відмовні ситуації.*

**Ключові слова:** вбудована система контролю, система діагностування та технічного обслуговування літака, функція моніторингу стану літака, модулі обчислювача централізованого ТО, додатковий віддалений термінал, блок управління системою локальної мережі.

*Development of the central board diagnostic systems and embedded systems control the operation of complex automated systems of modern aircraft at the design stage and use them in flight and technical operation during maintenance and repair can reduce the number of random abandoned situations in flight to almost impossible. This, in turn, affected the global strategy of increasing safety (strategy ICAO) has reduced the time and aircraft maintenance in preparation for flight. This complex, multifaceted problem solved by timely informing the pilot during the flight and technical personnel in the service of the SS "on the ground". Maintenance and repair using centralized on-board diagnostic systems and embedded control systems on functional systems of modern aircraft enables to get information on the status and refusal to respond FS and engineering staff in the short term with remote data processing of Refusal situation.*

**Keywords:** embedded system control, system diagnostics and maintenance of aircraft, aircraft condition monitoring function modules calculator centralized maintenance, additional remote terminal unit system management LAN.

### Вступ

Оскільки кінцевою метою вивчення стану безпеки польотів є прийняття управляючих впливів, спрямованих на підвищення безпеки польотів в сучасних умовах експлуатації авіаційної техніки виділяють два підходи до забезпечення високого рівня безпеки польотів:

– перший підхід заснований на нормуванні дій, які повинні застосовуватись для досягнення заданого рівня безпеки польотів при конструюванні, виробництві, експлуатації та технічному обслуговуванні ПС, включаючи управління повітряним рухом і аеродромне обслуговування;

– другий підхід заснований на організації попереджувальних заходів (у тому числі ТО) для підтримки встановленого рівня безпеки польотів (БП).

До системи технічної експлуатації, до якої входить ТО, відносять: об'єкти авіаційної техніки; авіаційний персонал; експлуатаційну документацію; наземні споруди; матеріальні та паливно-енергетичні ресурси; технологічне обладнання та засоби наземного обслуговування. Даний підхід дозволяє забезпечити безпеку і регулярність польотів ПС, і своєчасну підготовку ПС до польотів; збереження льотно-технічних характеристик відповідно до нормативно-технічних вимог; ефективне використання ПС [1–5].



Розглянемо сучасний підхід щодо діагностики та технічного обслуговування ПК на прикладі системи Aircraft Diagnostic and Maintenance System – ADMS.

ADMS є централізованим засобом для виконання більшості дій з ТО на сучасних ПК. Ця система обслуговування використовує реєстрацію відмов ФС ВС в поєднанні з можливістю доступу до систем, за допомогою легко знімних блоків та модулів (Line Replaciable Unit/Modul - LRUs/LRMs), які визначені як «Задіяні функціональні Системи» (Member Systems — MS). Задіяні функціональні системи — це системи, встановлені на ПК які безперервно передають інформацію про відмови ФС ПК.

ADMS складається з модуля обчислювача централізованого ТО (Central Maintenance Computer — CMC), в якому реалізується Функція обчислювача централізованого ТО і Функція моніторингу стану ПК (Aircraft Condition Monitoring Function — ACMF), додаткового віддаленого Терміналу (Remote Terminal — RT), блоку управління системою локальною мережею (Gateway Data LAN Management Unit — GDLMU).

ADMS не використовується у визначенні, чи придатне ПК до польоту. Інформація ADMS

використовується тільки технічним персоналом, для пошуку і усунення несправностей при відновленні ПК. Відповідно до цієї концепції, відмова ADMS під час прийняття рішення, не впливає на прийняття рішення про виліт. ADMS використовується тільки для усунення несправностей на літаку [1-5].

ADMS включає в себе наступні компоненти:

- модуль CMC;
- багатофункціональні дисплеї в кабіні екіпажу (Multi-Function Display — MFD);
- дистанційна шина зображення (Remote Image Bus — RIB) для передачі інформації від CMC на MFD;
- завантажувальна база даних діагностичної інформації (Loadable Diagnostic Information — LDI);
- задіяні функціональні системи (MSs);
- перемикач (перемикачі) зняття блокування для завдання тестів;
- кнопка реєстрації події;
- функція управління комунікацією;
- блок GDLMU.

На рис. 1 показана повна апаратна архітектура ADMS.

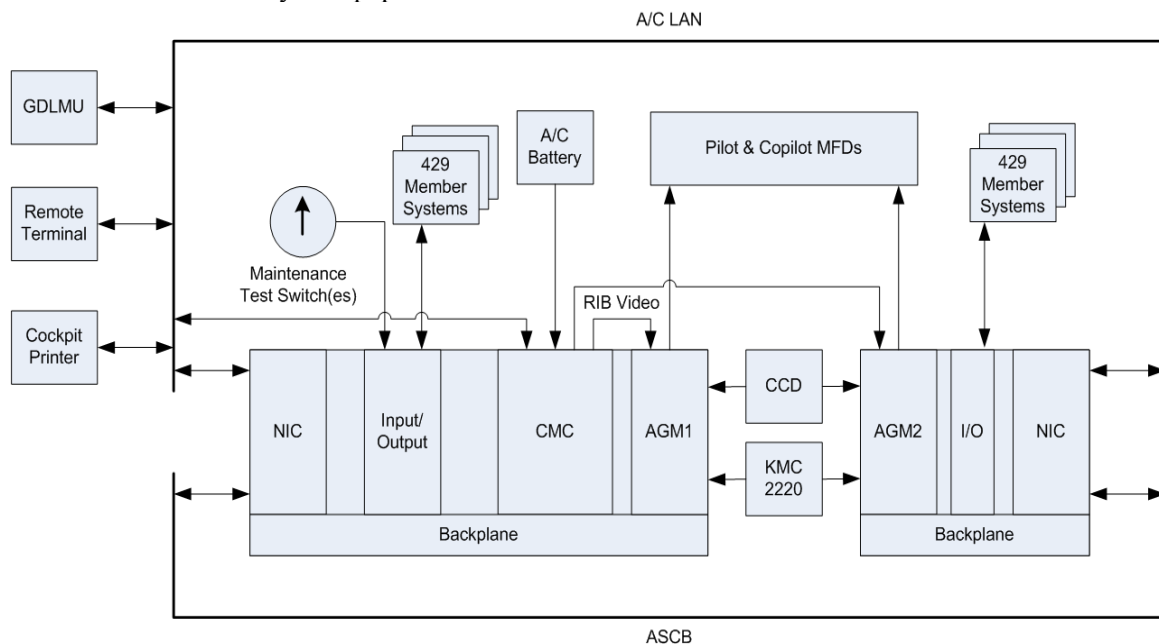


Рис. 1. Апаратна архітектура ADMS

**Постановка завдання дослідження**

Централізованим єдиним способом доступу до інформації, яку використовує наземний персонал при ТО ПК є Central Maintenance System — CMS.

Передбачено, що функції, виконувані CMS, не забезпечують сигналізацію екіпажу про відмови. Крім виведення інформації на MFD передбачається можливість використання Виносного Тер-

міналу — Remote Terminal (RT), який базується на ПК типу Notebook. RT дозволяє технічному персоналу отримати доступ до інформації без використання MFD [6-10].

CMS включає такі компоненти:

- Central Maintenance Computer (CMC) — конструктивно-змінний модуль, встановлений в Modular Avionics Unit (MAU);
- Central Display Unit (CDU) — багатофунк-

ціональний дисплей (MFD) в складі системи індикації для виведення інформації CMS;

- CCD — для управління CMS в кабіні пілотів;
- Modular Avionics Unit (MAU) — контейнер, у якому розміщені модулі комплексу авіоніки, в тому числі — модуль СМС;

- Utility Control System (UCS) — інтерфейсна система (з різними датчиками у вигляді аналогових, бінарних сигналів і ARINC-429), що зв'язує комплекс авіоніки з системами літака по ARINC-429;

- Data/LAN Management Unit (DLMU) — з'єднує СМС з DLMU через локальну мережу LAN;

- Remote Terminal (RT) — Виносний Термінал (BT).

Кожна MSs виконує свій власний контроль і зберігає її власні несправності.

Повна архітектура показана на рис. 2.

Кожна система забезпечує інформацію про технічний стан в реальному часі і їх зв'язку з СМС. MAU забезпечує весь збір даних ARINC 429 MS для СМС.

MAU є великим концентратором введення/виведення, який збирає аналогові і дискретні сигнали, а також входи ARINC 429.

CMS забезпечує:

- єдину точку доступу до інформації про відмови для всіх систем, що взаємодіють з CMS;
- визначення, наявності зв'язку CMS з ФС ВС;

- збір даних про відмови;
- запам'ятовування відмов у польоті;
- перегляд індивідуальної історії відмови;
- ініціювання тест-контролю і виведення результатів тестування;

- зіставлення даних по відмовах з часом, датою, ділянкою польоту і іншими даними.

Компоненти CMS і їх зв'язок показані на рис. 3.

Слід зазначити що режим ТО доступний тільки тоді, коли ПС на землі і забезпечуються умови безпеки. Функціонування режиму ТО і доступ до сторінок ТО в польоті блокується як CMS, так і MSs. Блокування працює так, що якщо CMS відмовила, то MSs не може бути подана команда для встановлення будь-якого небезпечного стану або запуск тесту в будь-якому режимі, окрім режиму ТО. Цей режим використовується для пошуку відмови і ремонту MSs. Коли CMS в режимі ТО, вона забезпечує доступ для MSs показати дані про відмови (активні відмови)[6–10].

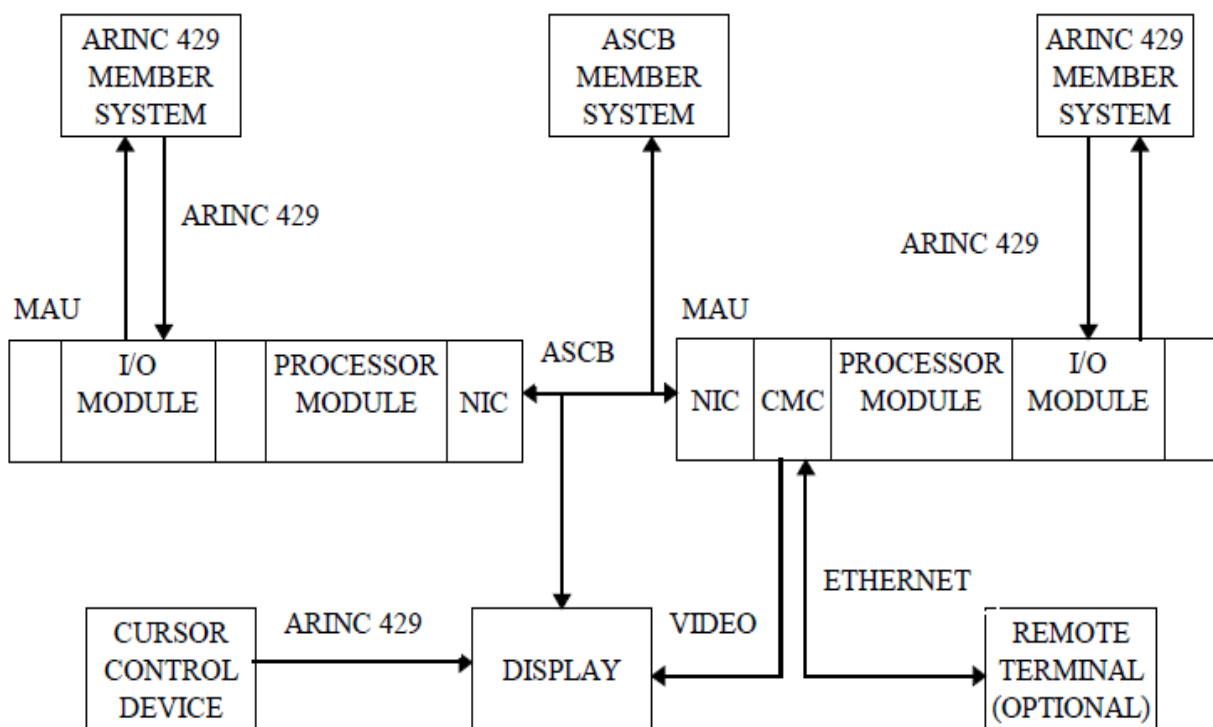


Рис. 2. Повна архітектура CMS

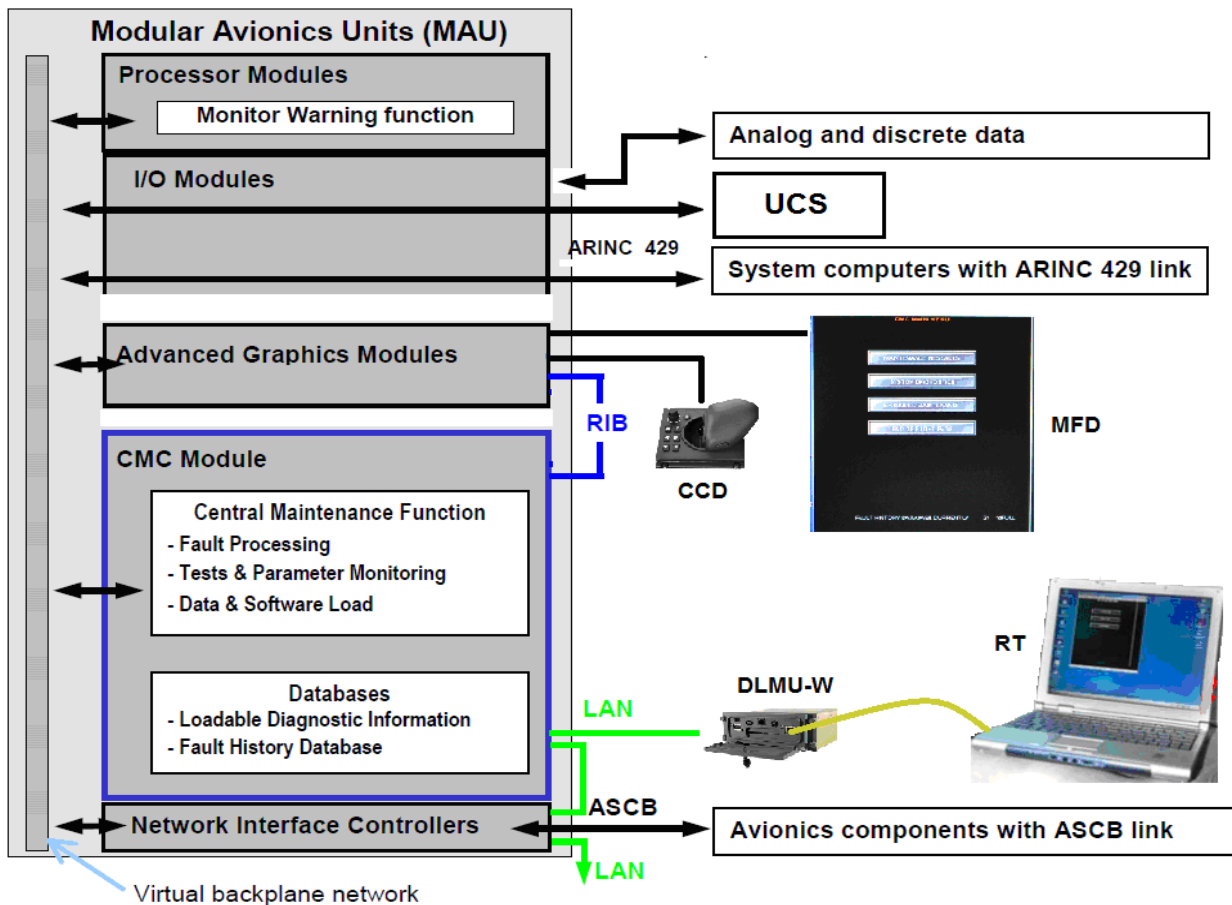


Рис. 3. Апаратні компоненти CMS

**Системне вирішення завдання дослідження**

CMS функціонально пов'язаний з системою індикації через MFD за допомогою інтерфейсу RIB (Remote Image Bus). Модуль CMC підключений через RIB.

Програмне забезпечення (ПО) MFD передає зображення на дисплей таких функцій:

- MWF (Monitor Warning Function) — функція виведення повідомлень про особливі ситуації в ФС ПС;
- NIC (Network Interface Controller) — контролює час, дату, номер літака і тип літака, передає мітки часу в прив'язці до передачі даних в модуль CMC;
- задіяні функціональні системи — Member Systems (MSs), які взаємодіють з модулем CMC через шини ARINC-429 і ASCB. До групи параметрів MSs включають всі відмови та ідентифікаційні дані, що відносяться до ФС ПС (інформація про параметри надходить в CMC за допомогою ARINC-429);
- перемикач наземного режиму (Ground Interlock Switch).

Для завантаження/зчитування даних/програм використовується локальна мережа (LAN). Кожна MSs повинна відповідати на власний ID обладнання та SDI. Коли в CMC встановлений біт активності, кожна MSs, повинна бути готова до

отримання в командному слові 227, свого ID і SDI. Щоб ID/SDI легко розпізнавалось, MSs повинна відповідати на команду в мітці 227, якщо умови з'єднання для MS будуть істиною, ID присвоюється MSs, на підставі даних Екранного Розробника.

Коли MSs бачитимуть ALL CALL (виклик всім) ID 80 (Шістнадцятирічний), всі MSs повинні обробляти команду CMC, якщо в MSs немає умов блокування. Коли передається команда ALL CALL (виклик всім), SDI встановлюється в «00». У слові 227 може передаватися ID устаткування багатьох систем. Це не мало б викликати в MSs переривання обробки останньої команди, отриманої від CMC.

Коли в MSs сформовані умови блокування, MSs повинна забороняти обробку команди. Умови заборони повинні бути позначені в мітці 350, біти 25-18. Умови заборони повинні бути збережені протягом 10 секунд або поки не буде отримана інша допустима команда від CMC (включаючи Clear CMC, але не включаючи No Command). На рис. 4 показана типова обробка даних, яка використовується MSs. MSs повинна бути відповідальною за процедуру проведення тестів. MSs повинна мати незалежні захисні блокування і не залежати від логіки захисного блокування CMC.

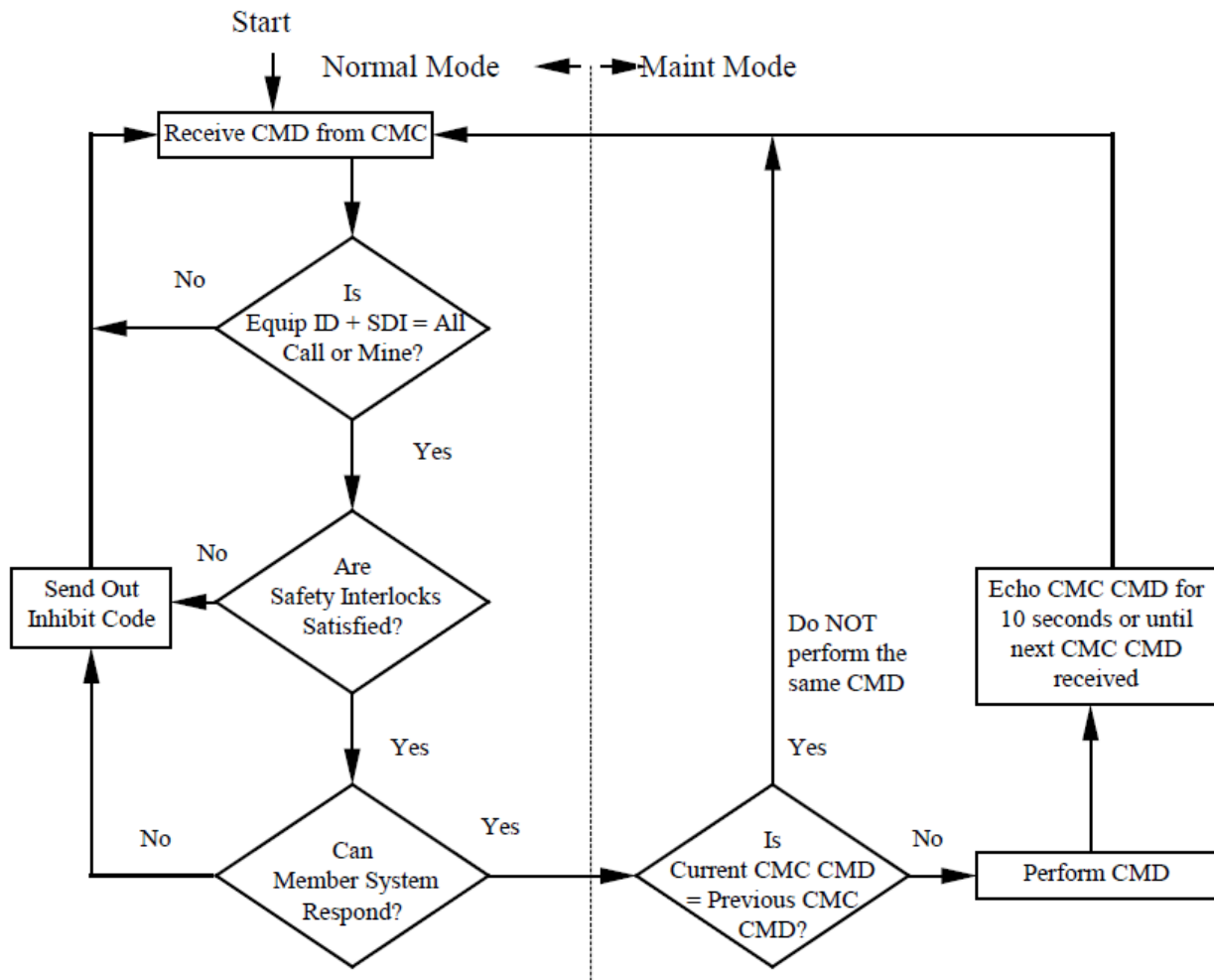


Рис. 5. Типова обробка даних, яка використовується MSs

**Функція діагностики** в CMS закладена в системі Loadable Diagnostic Information (LDI) — завантажується діагностична інформація, як модель даних або карта, яка характеризує дані з технічного обслуговування MSs. Дані з технічного обслуговування включають сторінки по ТО і повідомлення. Дані LDI зберігаються в базі даних, яка не є частиною виконавчих команд CMS, а це окремі файли, доступні для CMS. Дані по сторінках ТО зберігаються в LDI. LDI може змінюватися з використанням системи завантаження. Усі виниклі відмови зберігаються в базі даних відмов Fault History Database (FHDB).

Історія відмов літака як копія FHDB зберігається в модулі бази даних літака. Якщо модуль CMS замінюється, то історія відмов літака зберігається. ПО CMS збирає повідомлення про відмови і зберігає відповідну інформацію. CMS показує активні повідомлення для ТО і зберігає їх.

Розглянемо більш детально функції деяких пунктів меню MAINTENANCE MESSAGES:

- пункт ACTIVE — активні повідомлення (показуються всі відмови в реальному масштабі часу).

- пункт PRESENT LEG — повідомлення, що виникли в минулому польоті;

- пункт HISTORICAL BY DATE — історія повідомлень, згрупованих по датах (відображаються всі накопичені повідомлення, як активні, так і не активні, згруповані за датою);

- пункт HISTORICAL BY ATA — Історія з ATA.

Обравши необхідне повідомлення можна отримати деталізацію: назва відмови, тип і код; поле для визначення відмовив LRU; поле для опису відмови; поле для відповідної документації, якщо вона є полем активності повідомлення.

Пункт SYSTEM DIAGNOSTICS забезпечує можливість виконання наземного тест-контролю окремо обраної MSs.

CMS видає команду на виконання тесту за умови «літак на землі». Коли літак в повітрі — ця функція блокується [6–10].

При реалізації **функції ВСК** [11–12] визначені наступні критерії визначення рівня небезпеки, ідентифіковані умови відмови:

- NONE (Без Наслідків) — втрата працездатності або хибна робота системи впливає на

безпеку польоту ПС та не призводить до збільшення робочого навантаження на екіпаж;

– MIN (Minor) незначний — наслідки відмови можуть призвести до обмеження дій, або напрузі при реагуванні на відмову збоку екіпажу. Відмова незначно зменшить безпеку польоту, не приведе до дій льотного екіпажу, які перевищують їх можливості;

– MAJ (Major) значний — відмова може значно зменшити кордон (нижня межа) безпеки або функціональні можливості ПС, слугувати причиною ускладнення дій у несприятливих умовах, знижує ефективність роботи льотного екіпажу, або приведе до завдання збитків пасажиром; HAZ (Hazardous) небезпечний — відмова може привести до великого зниження кордону безпеки

або обмеження функціональних можливостей екіпажу та ПС, створити більш високе робоче навантаження або фізичне напруження на екіпаж, що може спричинити серйозної травми або смерті пасажирів.

Це не припустимо, тому що в разі виникнення навіть рідкісної такої відмови це обов'язково приведе до небезпечного події;

– CAT (Catastrophic) катастрофічний — катастрофічна відмова може викликати втрату ПС. Це не припустимо, тому що в разі виникнення такої відмови це приведе до катастрофічних наслідків. У таблиці показано приклад імовірностей відмов та критерії визначення рівня безпеки польотів

**Імовірності виникнення та наслідки відмов на прикладі системи «ADMS»**

Функція системи	Етап польоту	Наслідки відмови	Клас
Повна втрата або неумисне відображення даних про стан конфігурації системи	Всі етапи	Пілот не має доступу до конфігурації системи або стану на землі та не може вплинути на ухвалення рішення. Неумисне відображення під час польоту може замінити інші формати на MFD. Обидві ситуації можуть збільшити навантаження екіпажу	MIN $10^{-3}$
Повна втрата режиму завантаження даних	Наземний	У пілота, немає можливості відновити базу даних або вивантажити дані	MIN $10^{-3}$
Неумисний запис у режимі зчитування даних	Всі етапи, окрім наземного	Оновлення бази даних або завантаження даних могли перервати функції бази даних	MAJ $10^{-5}$
Некоректна робота устаткування внаслідок неправильних калібрувальних даних або тестування	Наземний	Виведені на екран дані не можуть належним чином калібруватися	MAJ $10^{-5}$
Повна втрата режиму підтримки видаленого терміналу	Наземний	Неможливо виконати технічне обслуговування на стоянці	MIN $10^{-3}$
Неумисний вхід в режим обслуговування видаленого терміналу	Всі етапи, окрім наземного	Можлива повна втрата Apex® System функцій	HAZ $10^{-7}$
Повна втрата Automatic System Configuration Check з оголошенням	Наземний	Нездатний прийняти рішення по ПС	MIN $10^{-3}$
Відмова повідомити помилку конфігурації системи	Наземний	Функції, можливо, зменшили придатність, без попередження екіпажу	HAZ $10^{-7}$

### Висновки

Технічне обслуговування з допомогою централізованих бортових систем діагностики та ВСК щодо функціональних автоматизованих систем та комплексів авіоники сучасних ПС дає можливість отримати інформацію та відреагувати на неї інженерному персоналу в стислі терміни з можливістю дистанційного опрацювання даних при відмовній ситуації на борту сучасного ПС.

Такі системи як ADMS містять в собі достатню функціональну базу та програмне забезпечення, щоб виконати функцію діагностики та ТО, що дозволяє виконувати функції відновлення ФС

ПС в тих часових рамках, які ставляться при сучасних умовах експлуатації ПС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Н. И. Новейшая авионика на самолете / Н. И. Макаров, А. Д. Киселев. — СПб.: «Мир авионики», 2005. — С. 74–77.
2. Отчет Аэронавигационной радиокорпорации ARINC 651 «Руководство по проектированию интегральной модульной авиационной электроники». — Аниapolis, 1991: пер. с англ. НИИСУ, 1992. — 278 с.
3. ARINC 651. Руководство по проектированию интегральной модульной авиационной электроники: пер. с англ. — Мериланд, 1991. — 278 с.

4. Воробьев В. М. Современные проблемы и тенденции автоматизации и взаимодействия кабинного интерфейса комплекса «экипаж–воздушное судно–среда». Ч. 1 / В. М. Воробьев, С. С.Ильенко // Кибернетика и вычислительная техника: межведомств. сб. науч. тр. — К. : Академперіодика, 2007. — Вип. 153. — С. 71–86.

5. Воробьев В. М. Современные проблемы и тенденции автоматизации и взаимодействия кабинного интерфейса комплекса «экипаж–воздушное судно–среда». Ч. 2 / В. М. Воробьев, С. С.Ильенко // Кибернетика и вычислительная техника: межведомств. сб. науч. тр. — К.: Академперіодика, 2007. — Вип. 154. — С. 66–81.

6. ARINC Specification 429P1-18 Digital Information Transfer System (DITS), P. 1, Functional Description, Electrical Interfaces, Label Assignments and Word Formats.

7. ARINC Specification 429P3-19 Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS), P. 3, File Data Transfer Techniques

8. ARINC Report 604-1 Guidance for Design and Use of Built-In Test Equipment (BITE).

9. ARINC Report 624-1 Design Guidance for Onboard Maintenance System.

10. PS7024836 BIT Guidelines and Practices (Honeywell supplied systems only).

11. Воробьев В. М. Отказобезопасность эргатического интегрированного комплекса «экипаж–воздушное судно–среда» и эксплуатационная статистика / В. М. Воробьев, С. С.Ильенко // Проблемы інформатизації та управління: зб. наук. праць. — К. : НАУ, 2010. — Вип. 1 (29). — С. 24-36.

12. Ильенко С. С. Оценка качества электрической энергии электротехнических систем авионики современных воздушных судов в наземных условиях / С. С. Ильенко //Проблемы інформатизації та управління: зб. наук. праць. — К.: НАУ, 2013. — Вип. 3 (43). — С. 44–48.

Стаття надійшла до редакції 17.11.2016

УДК 532.542; 532.57; 616.12-008

## ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧІЙ В ТРУБІ ЗІ ЗВИТОСТЮ

А. О. Борисюк, д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб; Я. А. Борисюк асп.

Інститут гідромеханіки НАН України

aobor@ukr.net

*Розроблено метод, який дає можливість лише за даними відеозапису стаціонарного руху рідини визначити витратні характеристики течії в трубі, а також зміни в них, які спричиняються появою планарної звитості останньої.*

**Ключові слова:** труба; планарна звитість; стаціонарна течія.

*A method has been developed that allows one to find flow characteristics in a pipe and the changes in those characteristics, which are caused by a pipe planar tortuosity, proceed from the videorecord of steady fluid motion in that pipe only.*

**Keywords:** pipe; planar tortuosity; steady flow.

### Вступ

Дослідження впливу звитості прямих труб на течії в них є актуальним для нафто-газової та хімічної промисловості, будівництва, медицини, комунального господарства, автомобіле- та літакобудування тощо.

Пояснюється це тим, що така нерегулярність геометрії зазначених конструкцій спричиняє, окрім іншого, збільшення їх опору рухові рідини порівняно з відповідними конст-рукціями без звитості, а відтак — зменшення (іноді — суттєве) об'ємної витрати рідини в них. А це, особливо у медицині, може приводити до серйозних наслідків (наприклад, ішемії відповідних органів і тканин тіла, інфаркта міокарда тощо) [1–3].

Таке збільшення опору відбувається внаслідок додаткового вихорового опору локально звитої труби у місцях її згину порівняно з відпоідною прямою трубою, внаслідок більшого впливу на течію сил в'язкості в трубі зі звитістю (якщо довжина звитої ділянки більша за довжину відповідної прямої ділянки), за рахунок зменшення площі поперечного перерізу звитості порівняно з відповідним прямим сегментом труби (яке має місце зазвичай у медицині) [1–3].

Як показує аналіз літератури, вивченню цього явища приділялася значна увага. Проте, на сьогодні не запропоновано неінвазивних методів, які б давали змогу визначати зміни у витратних характеристиках течій у трубах, які зумовлюються появою їх звитості.

У даній статті цей недолік ліквідується. Розроблено метод, який дозволяє швидко та з інженерною точністю знаходити зазначені зміни для

випадку планарно звитих труб і стаціонарних течій в них.

### 1. Постановка завдання

Розглянуто дві нескінченні прямі жорстко-стінні труби кругового поперечного перерізу діаметром  $D_0$ . В одній з них є скінченна планарно звита ділянка осьового розміру  $L_0$  і діаметра  $D_w$  (рис. 1).

Ми обмежуємося розглядом ситуацій, у яких діаметр  $D_w$  є таким самим, як і діаметр  $D_0$ , або трохи меншим за нього (в останньому випадку нехтуємо наявністю невеликих перехідних областей від звитості до прямих ділянок труби, оскільки їх вплив на витратні характеристики течії є малим). Перша з цих ситуацій зустрічається при заміні прямого сегмента труби звитим (або навпаки) тих же діаметра і осьового розміру. Вона є типовою для немедичних застосувань. Друга ж найчастіше має місце в медицині, коли звитість з'являється на якійсь ділянці судини, супроводжуючись загальним видовженням та незначним звуженням такої ділянки [1–3]. Випадки ж заміни якогось сегмента труби іншим, який має суттєво інший діаметр та/або інший осьовий розмір, потребують окремого вивчення.

Ця ділянка має  $N$  завивок, кожна з яких характеризується висотою  $A_i$  та шириною  $l_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ).

Труби перебувають в однакових умовах, і в них тече одна і та сама рідина. Рух рідини стаціонарний, і його можна візуалізувати. Через більший опір труби зі звитістю витратні характерис-

тики течії в ній менші за відповідні характеристики для прямої труби. Необхідно лише за даними відеозапису зазначеної візуалізації встановити зв'язок цих характеристик та їхніх різниць із параметрами труб. Під завивкою мається на увазі сегмент звитої ділянки труби між двома сусідніми точками перетину її стінки зі штриховою

лінією (рис. 1). Ця лінія відповідає положенню стінки, яке б та займала за відсутності зазначеної ділянки).

Тоді висотою завивки є максимальна відстань від її стінки до штрихової лінії, а шириною — відстань між її кінцями.

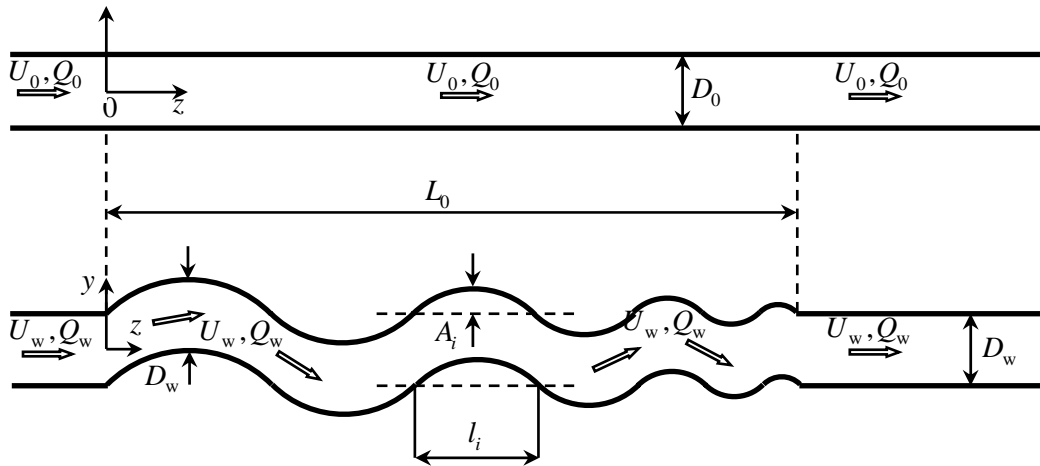


Рис. 1. Геометрія задачі

## 2. Співвідношення для витратних характеристик течії

Оскільки серед витратних характеристик течії найбільший інтерес зазвичай становлять її об'ємна витрата і середня осьова швидкість у поперечному перерізі труби за її робочою ділянкою [1–3], то саме ним і приділятиметься увага в даній роботі. Під робочою мається на увазі ділянка, на якій або відбувається заміна прямого сегмента труби звитим (чи навпаки), або ж утворюється звитість. Якщо ці величини позначити через  $Q$  та  $U$ , то їх можна представити виразами

$$Q = \iint_A u dA \quad \text{і} \quad U = \frac{1}{|A|} \iint_A u dA \quad (\text{де } u \text{ — локальна}$$

осьова швидкість рідини у поперечному перерізі труби  $A$ , а  $|A|$  — його площа). З іншого боку, множення і ділення виразу для  $Q$  на  $|A|$  і врахування співвідношення для  $U$ , дозволяє переписати  $Q$  у вигляді  $Q = U|A|$ .

Для зображених на рис. 1 трубок ці співвідношення переписуються таким чином:

$$Q_0 = \begin{cases} \iint_{A_0} u_0 dA_0, \\ U_0 \pi D_0^2 / 4, \end{cases} \quad Q_w = \begin{cases} \iint_{A_w} u_w dA_w, \\ U_w \pi D_w^2 / 4, \end{cases} \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{4}{\pi D_0^2} \iint_{A_0} u_0 dA_0, \quad U_w = \frac{4}{\pi D_w^2} \iint_{A_w} u_w dA_w \quad (2)$$

(тут індекси «0» та «w» показують на належність параметрів відповідно до прямої та звитої труб).

Співвідношення (1), (2) дають можливість визначити шукані характеристики течії в трубах, а відтак і абсолютні та відносні зміни в них:

$$\Delta Q = Q_0 - Q_w, \quad \delta_Q = (\Delta Q / Q_0) \cdot 100 \%,$$

$$\Delta U = U_0 - U_w, \quad \delta_U = (\Delta U / U_0) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

які спричиняються досліджуваною звитістю.

Отже, проводити такі розрахунки можна або за наявності необхідної інформації про швидкості  $u_0$ ,  $u_w$ , або ж коли є можливість знайти об'ємні витрати  $Q_0$ ,  $Q_w$  чи швидкості  $U_0$ ,  $U_w$  без попереднього визначення  $u_0$ ,  $u_w$ .

У першому разі потрібну інформацію можна одержати після проведення прямого числового моделювання течії на робочій ділянці труби, з урахуванням всіх особливостей реології рідини, фізичних властивостей стінки труби, умов її закріплення. Під робочою мається на увазі ділянка, на якій або відбувається заміна прямого сегмента труби звитим (чи навпаки), або ж утворюється звитість.

Проте такий підхід пов'язаний зі значними часовими та фінансовими затратами, а тому є не завжди і не зовсім прийнятним (особливо це стосується кардіології, де треба швидко (а іноді миттєво) приймати рішення, враховуючи при цьому



вартість відповідного перебування пацієнта в клініці).

Безпосереднє визначення витрат  $Q_0$  і  $Q_w$  можливе лише шляхом їх вимірювання. Але це передбачає або втручання в роботу досліджуваної трубної конструкції, або ж проведення необхідних вимірювань на ізольованих ідентичних зразках. А це також часто є небажаним, а іноді навіть неможливим.

Що ж стосується знаходження швидкостей  $U_0$ ,  $U_w$  без попереднього визначення  $u_0$ ,  $u_w$ , то такий підхід може бути реалізований, наприклад, у разі існування відеозапису руху рідини в досліджуваних трубах. При цьому реологія рідини, фізичні властивості стінки труби, умови її закріплення тощо будуть враховані автоматично (бо вони будуть відображені у відеозапису). Сам же метод визначення характеристик (1) і (2) (тобто метод, який ґрунтуватиметься на цьому підході) буде неінвазивним, потребуватиме незначних часових та фінансових затрат, і матиме інженерну точність.

З огляду на сказане, а також на можливість проведення візуалізації течії, для знаходження величин (1)–(3) надалі вибирається останній підхід.

### 3. Визначення $U$ та $Q$

Перш ніж переходити до опису цього підходу, звернемо увагу на одну фізичну особливість математично еквівалентних виразів  $Q = \iint_A u dA$  і

$Q = U|A|$ , а також на наслідки, які з неї випливають. Справа в тому, що перехід від першого до другого виразу означає не лише перехід від локальної  $u$  до середньої  $U$  швидкості, але й перехід від розгляду реальної до розгляду усередненої по поперечному перерізу труби течії (бо середня швидкість течії — це швидкість відповідним чином усередненої течії). В усередненій же течії швидкості всіх частинок рідини векторно рівні між собою, а їхні траєкторії є однаковими і мають однакову довжину. А це означає, що в такій течії в трубі: 1) траєкторії всіх частинок є такими самими, як її вісь; 2) шлях  $L$ , пройдений ними за проміжок часу  $\Delta t$ , дорівнює довжині відповідної ділянки цієї осі; 3) швидкість частинок (тобто середня осьова швидкість течії  $U$ ) визначається відношенням шляху  $L$  до часу  $\Delta t$ :

$$U = L / \Delta t. \quad (4)$$

Наведені міркування дозволяють лише за даними відеозапису руху рідини у досліджуваних трубах і формулою (4) визначити швидкості  $U_0$

та  $U_w$ , а відтак, зі співвідношення  $Q = U|A|$ , і витрати  $Q_0$  та  $Q_w$ .

Відповідна процедура зводиться до чотирьох кроків: 1) визначення (на основі даних відеозапису) відстані  $L$ , яку долає фронт барвника при проходженні досліджуваної ділянки труби; 2) встановлення за кількістю кадрів відеозапису та часовим інтервалом одного з них часу  $\Delta t$ , за який зазначений фронт проходить цю відстань; 3) знаходження на основі (4) шуканої швидкості; 4) визначення відповідної об'ємної витрати за формулою  $Q = U|A|$ .

Для зображених на рис. 1 труб реалізація цих кроків виглядає таким чином.

#### Пряма труба

Довжина  $L_0$  сегмента цієї труби (який або замінюється звитістю, або на якому утворюється остання) і час  $T_0$ , за який фронт барвника проходить цей сегмент, визначаються з відеозапису відповідно шляхом вимірювання та підрахунку. Тоді швидкість  $U_0$  знаходиться зі співвідношення

$$U_0 = L_0 / T_0, \quad (5)$$

а витрата  $Q_0$  вираховується за відповідною нижньою формулою в (1).

#### Труба зі звитістю

Відстань  $L_w$ , яку долає фронт барвника при проходженні звитої ділянки труби (рис. 1), дорівнює довжині осі цієї ділянки. Оскільки ця вісь має форму неправильної синусоїди, то її логічно апроксимувати такою синусоїдою:

$$y(z) = \pm \begin{cases} y_1(z) = A_1 \sin(\pi z / l_1); \\ y_i(z) = (-1)^{i-1} A_i \sin(\pi(z - l_1 - \dots - l_{i-1}) / l_i); \\ y_N(z) = (-1)^{N-1} A_N \sin(\pi(z - l_1 - \dots - l_{N-1}) / l_N), \\ 0 \leq z \leq l_i; \\ l_1 + \dots + l_{i-1} \leq z \leq l_1 + \dots + l_i; \\ l_1 + \dots + l_{N-1} \leq z \leq l_1 + \dots + l_N \end{cases} \quad (6)$$

(тут знаки + та - відповідають випадкам, коли перша завивка знаходиться відповідно над або під віссю  $z$ ). Тоді відстань  $L_w$  визначатиметься співвідношенням

$$L_w = \sum_{i=1}^N L_i, \quad (7)$$

у якому

$$L_i = \int_{l_1 + \dots + l_{i-1}}^{l_1 + \dots + l_i} \sqrt{1 + (dy_i / dz)^2} dz =$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \frac{l_i}{\pi} \sqrt{1+a_i^2} \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-k_i^2 \sin^2 x_i} dx_i = \\
 &= 2 \frac{l_i}{\pi} \sqrt{1+a_i^2} E(k_i)
 \end{aligned}
 \quad (8)$$

довжина  $i$ -ї завивки осі ( $i=1, \dots, N$ ),  $\pi z/l_i = x_i$ ,  $A_i \pi/l_i = a_i$ ,  $k_i = a_i / \sqrt{1+a_i^2}$  ( $k_i < 1$ ), а  $E(k_i)$  — повний еліптичний інтеграл другого роду [4].

Наявність шляху (7) і часу  $T_w$ , за який цей шлях долається фронтом барвника ( $T_w$  визначається з відеозапису за кількістю та часовою довжиною кадрів) дозволяє знайти швидкість  $U_w$ :

$$U_w = L_w / T_w, \quad (9)$$

а з її допомогою та відповідною формулою в (1) об'ємну витрату  $Q_w$ .

#### 4. Метод

Наведені вище міркування дозволяють запропонувати наступний метод визначення змін у витратних характеристиках течії в трубі, спричинених появою її звитості:

1) за однакових умов створюються стаціонарні течії у звитій та відповідній прямій трубі. Якщо йдеться про застосування цього методу в медицині, то там цей пункт є зайвим (бо течія вже існує, і її у відповідних часових масштабах можна вважати квазістаціонарною);

2) проводиться візуалізація цих течій (шляхом введення в них барвника) та їх відеозапис;

3) із цього відеозапису визначають діаметр  $D_w$  поперечного перерізу та осьовий розмір  $L_0$  звитої ділянки, висота  $A_i$  та ширина  $l_i$  кожної її завивки, а також діаметр прямої труби  $D_0$  (при немедичному застосуванні даного методу ці параметри відомі наперед);

4) на основі значень  $A_i$  та  $l_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) вісь звитої ділянки апроксимується нерегулярною синусоїдою (6).

5) за формулами (7), (8) і таблицями значень інтеграла  $E(k_i)$  знаходять довжину  $L_w$  цієї осі.

6) за відповідною кількістю кадрів зазначеного відеозапису та часовою довжиною одного з них визначають проміжки часу  $T_w$  і  $T_0$ , за які фронт барвника долає відповідно шлях  $L_w$  у звитості та відповідну ділянку прямої труби завдовжки  $L_0$ ;

7) На основі (9), (5) та нижніх формул у формулу (1) встановлюють швидкості  $U_w$ ,  $U_0$  та об'ємні витрати  $Q_w$ ,  $Q_0$  рідини на досліджуваній звитій і прямій ділянках;

8) За допомогою формули (3) і знайдених значень  $U_0$ ,  $U_w$  і  $Q_0$ ,  $Q_w$  вираховують абсолютні та відносні зміни у цих характеристиках течії, які зумовлюються появою локальної планарної звитості прямої труби.

#### 5. Перевірка методу

Описаний метод перевірявся експериментально. Для цього було створено установку, робоча ділянка якої зображена на рис. 2.

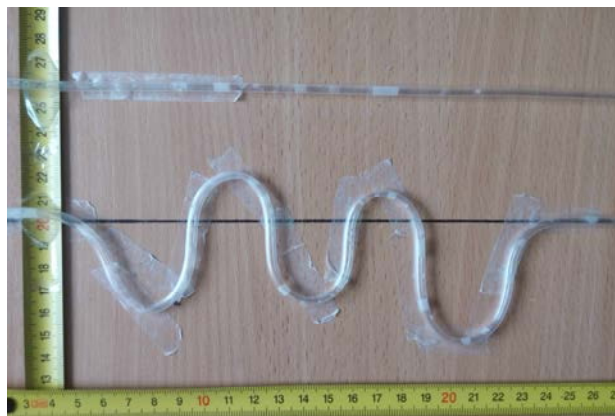


Рис. 2. Робоча ділянка експерименту

Основними елементами цієї установки були два зливних і два приймальних однакових резервуари; дві однакові силіконові трубки внутрішнього діаметра  $D_0 = 3$  мм, одна з яких була прямою, а інша — зі звитістю; вимірювальні рулетки; фарба та голки для її введення у трубки; відеокамера; скотч; електронні ваги (для визначення об'єму рідини  $\Delta V$ , який надходив до

приймального резервуара протягом періоду вимірювань  $\tau$ , за формулою

$$\Delta V = \Delta m / \rho, \quad (10)$$

(тут  $\Delta m$  — маса рідини, яка потрапляла до цього резервуара за час  $\tau$ , а  $\rho$  — її масова густина).

Робочою рідиною була вода кімнатної температури.

Експериментальна установка функціонувала наступним чином. Зливні та приймальні резервуари з'єднувалися трубками (трубка на пару верхній/нижній резервуар). Одна трубка була прямою, а інша мала скінченну планарно звиту ділянку, форма якої фіксувалася за допомогою скотча. Через сплющування звитої ділянки трубки у місцях згину, яке мало місце за певних значень параметрів звитості  $A_i$  та  $l_i$ , такі значення в експерименті не розглядалися.

Унаслідок повільно змінюваної різниці між рівнями води у верхніх та нижніх резервуарах протягом часу  $\tau$ , у трубках створювалися контрольовані квазістаціонарні течії з однаковими різницями тиску на вході та виході робочої ділянки експерименту (це досягалося шляхом вибору однакових рівнів води у відповідних резервуарах). Під робочою мається на увазі ділянка, на якій або відбувається заміна прямого сегмента труби звитим (чи навпаки), або ж утворюється звитість. Повільне введення фарби у трубки через голки, розташовані перед зазначеною ділянкою, дозволяло візуалізувати течії. Одночасно проводився їх відеозапис.

Для створюваних течій в рамках розробленого методу визначалися швидкості  $U_0$  і  $U_w$ , а за їх допомогою — об'ємні витрати  $Q_0$  і  $Q_w$ . Далі проводився порівняльний аналіз цих даних з відповідними експериментальними даними, на основі якого робився висновок про придатність або непридатність методу для проведення відповідних розрахунків.

Необхідні експериментальні дані визначалися з відповідних вимірювань. Для цього спочатку за допомогою електронних ваг вимірювалися маси води  $\Delta m_0$  і  $\Delta m_w$ , які одночасно надходили до приймальних резервуарів протягом часу вимірювань  $\tau$  відповідно через пряму та звиту трубки.

Це дозволяло за допомогою формули (10) знаходити об'єми води  $\Delta V_0$  і  $\Delta V_w$ , а відтак і її об'ємні витрати у трубках  $Q_0$  і  $Q_w$ :

$$Q_0 = \frac{\Delta V_0}{\tau} = \frac{\Delta m_0}{\rho \tau}, \quad Q_w = \frac{\Delta V_w}{\tau} = \frac{\Delta m_w}{\rho \tau}. \quad (11)$$

Потім величини (11) використовувалися для визначення  $U_0$  і  $U_w$  за нижніми формулами в формулі (1):

$$U_0 = \frac{Q_0}{\pi D_0^2 / 4}, \quad U_w = \frac{Q_w}{\pi D_w^2 / 4}.$$

Нижче наводяться типові результати порівняльного аналізу, одержані для зображеної на рис. 2 конфігурації трубок.

Тут осьовий розмір звитої ділянки  $L_0$  і кількість її завивок  $N$  дорівнюють відповідно 200 мм і 5, а значення параметрів звитості  $A_i$  та  $l_i$  наведені в таблиці.

Параметри звитості

$i$	1	2	3	4	$N = 5$
$A_i$ , мм	37	19	34	10	49
$l_i$ , мм	48	31	33	27	61
$L_i$ , мм	92	51	77	35	120

Наявність цих даних дозволяє в рамках розробленого методу апроксимувати вісь звитої ділянки нерегулярною синусоїдою (6) і визначити (за допомогою формул (7), (8) і таблиць значень інтеграла  $E(k_i)$  [4]) довжини всіх завивок  $L_i$  (див. таблицю), а відтак і довжину  $L_w$  самої осі ( $L_w = 375$  мм).

Тоді значення довжин  $L_0$  ( $L_0 = 200$  мм) і  $L_w$ , а також знайдені з аналізу відеозапису руху барвника у трубках часові інтервали  $T_0 = 0,44$  с і  $T_w = 1,04$  с дають можливість вирахувати (на підставі формул (5) і (9)) відповідні швидкості  $U_0$  і  $U_w$ :

$$U_0 = 455 \text{ мм/с}, \quad U_w = 361 \text{ мм/с}. \quad (12)$$

Після цього величини (12) і нижні вирази в формулі (1) дозволяють визначити витрати  $Q_0$  і  $Q_w$ :

$$Q_0 = 3215 \text{ мм}^3/\text{с}, \quad Q_w = 2550 \text{ мм}^3/\text{с}, \quad (13)$$

а на підставі цих даних і співвідношень (3) — відповідні абсолютні та відносні зміни у цих характеристиках течії, які спричиняються звитістю трубки:

$$\begin{aligned} \Delta U &= 94 \text{ мм/с}, \quad \Delta Q = 665 \text{ мм}^3/\text{с}, \\ \delta_U &= 20,66 \%, \quad \delta_Q = 20,68 \%. \end{aligned} \quad (14)$$

Порівняльний аналіз величин (12)-(14) з відповідними експериментальними даними (одержаними за описаною вище процедурою):

$$\begin{aligned} U_0 &= 473 \text{ мм/с}; \quad U_w = 371 \text{ мм/с}; \\ Q_0 &= 3341 \text{ мм}^3/\text{с}; \quad Q_w = 2621 \text{ мм}^3/\text{с}; \\ \Delta U &= 102 \text{ мм/с}; \quad \Delta Q = 720 \text{ мм}^3/\text{с}; \\ \delta_U &= 21,56 \%, \quad \delta_Q = 21,55 \%, \end{aligned}$$

засвідчує добру узгодженість між ними.

Подібні результати порівняння (тобто в межах 10 % відповідних відносних різниць) були одержані для всіх інших конфігурацій звитості, використаних у даному експерименті. Це дозволяє говорити про придатність розробленого методу для проведення відповідних розрахунків.

#### Висновки

1. Розроблено метод, який дає можливість лише за даними відеозапису стаціонарного руху рідини у прямій трубі визначати зміни у її витратних характеристиках, які зумовлюються появою звитості зазначеної конструкції.

2. Цей метод ґрунтується на заміні реальної течії усередненою і подальшому знаходженні її витратних характеристик у термінах відповідних параметрів усередненої течії.

3. Даний метод є неінвазивним, має інженерну точність і дозволяє виключати з розгляду ряд однакових факторів для початково прямої і в подальшому звитої ділянки досліджуваної труби. Крім того, він дає можливість визначати шукані зміни у будь-який момент після проведення відеозапису, не пов'язаний з вирішенням склад-

них технічних завдань, а також не потребує спеціального обладнання, спеціальної фахової підготовки і значних фінансових та часових затрат.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Groves S. S. Severe coronary tortuosity and the relationship to significant coronary artery disease / S. S. Groves, A. C. Jain, B. E. Warden, W. Gharib, R. J. Beto 2nd. // West Virginia Med. J. — 2009. — Vol. 105, no. 4. — P. 7–14.

2. Hai-Chao Han. Twisted blood vessels: symptoms, etiology and biomechanical mechanisms / Han Hai-Chao // J. Vasc. Res. — 2012. — Vol. 49. — P. 185–197.

3. Борисюк А. О. Метод визначення гемодинамічної значущості патологічної звитості коронарних артерій у хворих на коронарний синдром Х. — Ч. 1. Планарна звитість / А. О. Борисюк // Прикл. гідромех. — 2014. — Т. 16, № 3. — С. 23–35.

4. Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / М. Абрамовиц, И. Стиган. — М.: Наука, 1979. — 832 с.

## ВИБІР ПРОТОКОЛУ ДЛЯ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

**О. В. Дубчак, І. Б. Петраш**

*У статті розглянуто сучасний стан розвитку ІР-телефонії. Наведено детальну характеристику популярних протоколів SIP та H.323. Визначено переваги та недоліки кожного з них. Наведено схеми побудови мережі ІР-телефонії з використанням протоколів. Поставлено питання щодо забезпечення якості передавання голосових даних та дотримання конфіденційності цілісності та доступності інформації. Зазначено, що H.323 дозволяє більш ефективно використовувати технологію ISDN із застосуванням шлюзів H.320 і меншого числа ліній ISDN. Також зазначено, що обидва протоколи забезпечують гарну масштабованість мережі, але протокол H.323 більш складний у зв'язку з кількістю запитів та двійкового представлення повідомлень. Щодо протоколу SIP, то до основних його переваг належить простота організації, мобільність, поширюваність.*

*Набір послуг, які надаються обома протоколами, приблизно однаковий, з чого випливає можливість сумісного їх використання.*

*На підставі проведеного порівняльного аналізу протоколів зроблено висновок щодо відповідності протоколу SIP завданням побудови інтегрованих та змішаних мереж.*

## SELECTION OF PROTOCOL FOR IP-TELEPHONY NETWORK CONSTRUCTION

**O. V. Dubchak, I. B. Petrash**

*The current state of IP telephony is considered in this article. It is presented popular SIP and H.323 protocols. Advantages and disadvantages each of them were estimated. Schemes of network IP telephony by using protocols were depicted. A question is raised about a transmission of voice data confidentiality and integrity, availability of information. It is indicated that H.323 allows more efficient uses of ISDN technology by using H.320 with fewer lines of ISDN. The report states that both protocols provide a good network scalability, but H.323 protocol is more complicated due to the number of requests and the binary representation of messages. The main advantages of SIP protocol include a simplicity of organization, mobility, extensibility. A range of services provided by both protocols is approximately the same, which implies the possibility to use both protocols simultaneously.*

*On the other hand, a comparative analysis of the protocols was conducted and concluded on SIP protocol compliance task of building integrated and mixed networks.*

## МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ОПОРНІЙ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА

**Р. С. Одарченко, А. О. Абакумова**

*У роботі проаналізовано алгоритми резервування ресурсів та методи перерозподілу потоків трафіку опорної мережі стільникового оператора зв'язку. У даних алгоритмах використовується інформація про пропускну здатність і надійність каналів, що дозволяє підвищити інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну здатність мережі в цілому. Оскільки вимоги кожного сервісу до передачі даних у мережі відрізняються, тому доцільно використовувати для кожного сервісу свій алгоритм резервування ресурсів мережі.*

*До розгляду було взято модель мережевого трафіку на основі систем масового обслуговування М/М/1-модель. У роботі система масового обслуговування розглядається як прототип системи для розвантаження опорної мережі стільникового оператора. За допомогою даної системи досліджено завантаженість мережі, а також розроблено метод балансування навантаження в транспортній мережі LTE.*

*Основними відмінностями даного методу від більшості існуючих є те, що він динамічний, а також дозволяє розподіляти навантаження в залежності від стану каналів між альтернативними маршрутами з різною вартістю.*

*У результаті розроблений метод балансування навантаження в опорній мережі стільникового оператора дозволить досягнути більш збалансованого розподілу трафіку по всій мережі і відповідно більш високих показників продуктивності.*

## LOAD BALANCING METHOD IN THE CORE NETWORK OF MOBILE OPERATORS

**G. S. Odarchenko, A. A. Abakumov**

*The paper analyzes resource reservation algorithms and methods of traffic flows redistribution in the backbone mobile operator network. In these algorithms information is used about channels capacity and reliability that allows to increase the intensity of network segments, and thus the effective network capacity in general. Since requirements of data transfer for each service in network are different, so it should be used its network resource reservation algorithm for each service. Network traffic model was taken for consideration based on queuing system M/M/1-model. In the work, queuing system is considered as a prototype system for unloading the mobile operator core network. By using this system network load was investigated, and method of load balancing was developed in LTE transport network. The main differences between this method and most existing one is that it is dynamic, and allows to distribute load depending on the channel conditions between alternative routes with different value. As a result, the developed load balancing method in the mobile operator core network allows to achieve more balanced traffic distribution across the network and therefore higher performance.*

## РОЗРІЗНЕННЯ СИГНАЛІВ У НЕЛІНІЙНИХ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СТЕЖНИХ СИСТЕМАХ

**С. О. Шматок, А. Б. Петренко, О. С. Шматок**

*У роботі досліджується режим захоплення радіосигналу на автоматичний супровід. Представлена методика кількісної оцінки процесу розрізнення сигналів в нелінійних детермінованих стежних системах першого і другого порядків, яка базується на теорії біфуркацій (катастроф). Проведено розрахунок параметричної характеристики дискримінатора при наявності пари вхідних радіосигналів. Розраховані області захоплення, визначений стан рівноваги і оцінена стійкість стежної системи першого і другого порядку. Розміри областей захоплення істотно залежать від потужностей радіосигналів. Побудовані фазові портрети нелінійної стежної системи. Визначено умови зриву стеження за корисним сигналом.*

## DISTINGUISHING OF THE SIGNALS IN NONLINEAR DETERMINISTIC TRACKING SYSTEMS

**S. O. Shmatok, A. B. Petrenko, O. S. Shmatok**

*In this paper was investigated the signal capture mode on the automatic tracking. Was presented the technique of quantitative evaluation of signal resolution process in deterministic nonlinear tracking systems first and second orders based on bifurcation (accident) theory. The calculation of the parametric characteristics of the discriminator if there is any pair of input signals. Calculated the capture spot, determined equilibrium state and assessed the stability of the first and second order tracking system. Sizes of capture spot depend strongly on the radio signals capacity. Was constructed the phase portraits of nonlinear tracking system. Was determined the stalled conditions of tracking useful signal.*

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЦІКАВЛЕНОСТІ КОРИСТУВАЧА НАВЧАЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ В АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

**Є. Б. Артамонов**

*У даній статті розглянуто проблему підходів до автоматичного визначення рівня зацікавленості елементами електронних навчальних комплексів. Рівень зацікавленості використовується як один з ключових параметрів, який характеризує якість сприйняття навчальних матеріалів у випадку роботи студента без прямого зворотного зв'язку з викладачем. На основі оцінки якості сприйняття інформації і ряду інших параметрів здійснюється адаптивне формування інформаційних ресурсів, які дозволяють автоматично вибудувати гнучку систему наповнення електронного навчального комплексу.*

*Основна проблема оцінки зацікавленості полягає в такому: 1) відсутність готових математичних моделей, що описують зв'язок реакцій користувача і його інтерес до навчальних матеріалів; 2) відсутність статистичної вибірки з оцінюванням зв'язків матеріал-інтерес-студент; 3) деякі з параметрів оцінки реакцій користувача носять нечислової характер. У статті проводиться порівняльний аналіз наступних методів: байесівський, фазового інтервалу, логічного висновку, нейронних мереж, нечітких множин. Показано, що найбільш перспективним математичним апаратом для розробки системи ви-*

значення рівня зацікавленості користувача навчальними матеріалами є нечітка логіка. Застосування нечіткої логіки дає можливість будувати системи оцінки на базі експертних висловлювань про причинно-наслідкові зв'язки між реакціями користувача і рівнем зацікавленості.

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES TO THE DEFINITION OF USER INTEREST TO LEARNING MATERIALS IN ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS

*Y. B. Artamonov*

*This article considers the problem of approaches to automatically definition of the interest rate to elements of e-learning systems. Interest rate is used as one of the key parameters that characterize the quality of the perception of educational material if you are working without the direct feedback from the teacher. Based on the assessment of the quality of perception and a number of other options can be adaptive formation of information resources that will automatically build a flexible system of e-learning system content.*

*The main problem of assessment interest is as follows: 1) the lack of ready mathematical models describing the relationship interest and users reactions to educational materials, 2) the absence of a statistical sample of the evaluation relations material-interest- student, 3) some of the parameters of the user reactions estimates are non-numeric character.*

*The article presents a comparative analysis of the following methods: Bayes, the phase interval, of logical inference, neural networks, fuzzy sets. It is shown that the fuzzy logic is the most perspective mathematical apparatus to develop a system of determining the interest rate of user in learning materials.*

## ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ МЕТОДІВ СТЕГАНОАНАЛІЗУ

*O. K. Yudin, J. A. Simonichenko*

*У статті запропоновано та описано метод виявлення наявності прихованих каналів передачі інформації, утворених з використанням стеганографічної системи, на базі методів стеганографічного аналізу. Даний метод базується на виявленні наявності прихованого текстового повідомлення, вбудованого в цифрове зображення методом модифікації молодшого біту колірної компоненти моделі RGB, шляхом порівняння розподілу кількості 1-х бітів в умовних блоках бітових площин колірних компонентів цифрового зображення та кодів символів текстового повідомлення при їх двійковому представленні. Наведено результати дослідження описаного методу виявлення та перевірки наявності прихованого текстового повідомлення в цифровому зображенні з використанням утворених матриць умовних блоків колірних компонентів, а також, можливого апріорного визначення мови, що використовується в прихованому повідомленні.*

## IDENTIFY COVERT CHANNELS TRANSFER INFORMATION ON THE BASIS OF STEGANOANALYSIS

*A. K. Yudin, J. A., Simonichenko*

*The article proposes and describes a method of identifying secure communication channels which have been formed with the use of a steganographic system on the basis of methods of the steganographic analysis. This method is based on identification hidden message built in the digital image using modifications of the least significant bit of the color component of the RGB model by comparing the distribution of the number of 1 bits in the conditional blocks of bit planes of the color components of the digital image and the character codes of text message when they submitted in binary representation.*

*Listed the results of the research described method to detect and validate the presence of a hidden text message in digital image using the formed matrixes of conditional blocks of the color components, and also a priori language identification used in the hidden text message.*

## ОСОБЛИВОСТІ АДМІНІСТРУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ В ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ ДЕРЖАВНИМИ ІНФОРМАЦІЙНИМИ РЕСУРСАМИ

**О. К. Юдін, С. С. Бучик, Р. В. Зюбіна, Ю. С. Авраменко**

*У статті вперше визначено мету, предмет, об'єкт, напрямок та завдання дослідження особливостей адміністрування та менеджменту в публічному управлінні державними інформаційними ресурсами. Уточнено визначення поняття «державні інформаційні ресурси», уточнено їх класифікацію, надано визначення поняття «публічна інформаційна система». Розроблено модель захисту системи менеджменту публічними державними інформаційними ресурсами на основі методу «подвійної трійки захисту». Таким чином, сформовано загальне наукове завдання, щодо визначення нормативно-правових, організаційних та, у тому числі, інженерно-технічних рішень, направлених на створення єдиної системи публічного менеджменту державними інформаційними ресурсами. Визначено науково-прикладний напрямок дослідження: організація системи публічного менеджменту органів державного управління на платформі сучасних методів та моделей побудови та підвищення ефективності системи адміністрування та публічного менеджменту державних інформаційних ресурсів.*

## **FEATURES OF ADMINISTRATION AND MANAGEMENT IN PUBLIC THE MANAGEMENT OF STATE INFORMATION RESOURCES**

**A. K. Yudin, S. S. Bucik, R. V. Zyubina, Y. S. Avramenko**

*In the article a goal, a subject, an object, direction and tasks of research of features of administration and management in the public control of state informative resources are defined for the first time. Determination of the concept of state informative resources and their classification are specified; determination of the concept of the public informative system is given. A model of security of the management system by means of public state informative resources on the basis of the method of «double three of security» is worked out. Thus, a common scientific task is formed in relation to determination of normatively-legal and organizational decisions, including technical ones directed to the creation of the common system of public control of state informative resources. The scientifically-applied direction of research is defined. It consists in organization of the system of public management of organs of state administration on the platform of modern methods and models of construction and the rise of effectiveness of the system of administration and public management of the state informative resources.*

## **ВИДІЛЕННЯ РЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЙОГО ЛОГУ**

**В. М. Левикін, О. В. Чала**

*Організація процесного підходу до управління підприємством передбачає побудову моделей бізнес-процесів та подальше управління з використанням цих моделей. Модель процесу містить у собі послідовність дій по вирішенню відповідної функціональної задачі. Ця послідовність може змінюватись виконавцями з використанням персональних знань про контекст виконання процесу. Контекст складається з взаємопов'язаних об'єктів, з якими взаємодіє бізнес-процес. Виявлення зв'язків між об'єктами на основі аналізу логів та подальше їх включення до моделі процесу дозволяє підвищити ефективність процесного управління. Виконано структурування об'єктів бізнес-процесу. Запропоновано метод виділення реляційної складової знань бізнес-процесу шляхом аналізу його логу. Метод передбачає виявлення залежностей на рівнях об'єктів процесу, а також атрибутів об'єктів і значень атрибутів. У практичному аспекті метод забезпечує можливість формалізації та подальшого включення в модель елементів персональних знань виконавців, у відповідності до яких було змінено хід виконання процесу, після чого ці зміни занесені до логу.*

## **EXTRACTION RELATIONAL DEPENDENCIES OF THE BUSINESS PROCESS USING THE ANALYSIS OF ITS LOG**

**V. Levykin, O. Chala**

*Process management involves constructing business process models and further process control using of these models. The process model includes a series of actions to address the relevant functional task. This sequence may vary performers with personal knowledge of the context of the process. The context consists of interconnected objects; it interacts with the business process. Identifying of relationships between objects based on log analysis and further their inclusion in the model of the process is needed to improve the efficiency of process control. Structuring of business process objects is completed.*

*The method of allocating the relational component of the knowledge of the business process by analyzing its log is proposed. The method identifies dependencies at the level of process objects and objects attributes and*



*attributes values. The method provides the possibility of formalization and subsequent inclusion in the model elements of personal knowledge of the performers. These elements were used to change the course of a process, and then these changes are written to the log.*

## **МЕТОД АДАПТИВНОГО ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПІДХОДУ**

**С. С. Чалий, І. В. Левикін**

*Прецедентний підхід направлений на використання існуючого досвіду ждя вирішенні нових завдань. Прецедент містить досвід вирішення завдань у вигляді структурованих характеристик задачі, а також опис процесу її вирішення. При реалізації прецедентного підходу процедура адаптації прецеденту виконується до початку управління відповідним процесом. При процесному управлінні це не дозволяє адаптувати бізнес-процеси та змінювати послідовність роботи під час виконання, що особливо важливо при доступі до загальних ресурсів. Зазначене свідчить про актуальність проблеми адаптивного управління бізнес-процесами.*

*Запропоновано метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу. Метод містить у собі етапи: адаптація прецедентних моделей процесів, виконання процесів згідно завдань в моделі послідовності дії; додавання нового процесу до множини тих, що виконуються, з урахуванням затримок при доступі до загальних ресурсів. На відміну від існуючих, метод реалізує управління множиною бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси. Метод дає можливість оцінити можливість виконання часових обмежень.*

## **METHOD OF ADAPTIVE PROCESS MANAGEMENT USING CASE BASED REASONING**

**S. Chalyi, I. Levykin**

*Case-based approach aims to use existing experience in dealing with new challenges. Case includes experience in a structured performance objectives as well as a description of its process solutions. In implementing the approach of case precedent adaptation procedure is performed prior to the relevant management process. In process management it is not possible to adapt business processes and change the sequence of their works at run time, which is especially important when you access shared resources. This shows the relevance of the problem of adaptive business process management.*

*A method for adaptive process management using case — based reasoning is proposed. The method comprises the following steps: adaptation of precedent process models; execution of processes according to a predetermined pattern in a sequence of actions; adding a new process to the set of executable given the delays in access to shared resources. The proposed method, in contrast to the existing implements the management of multiple business processes that use shared resources. The method makes it possible to assess the feasibility of time constraints.*

## **ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД ПЕРЕД АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ**

**С. В. Бойченко, С. Й. Шаманський, А. Я. Ільченко**

*У статті наведено характеристику існуючих очисних споруд міжнародного аеропорту Бориспіль. На основі досліджень, подані найбільш ефективні методи попередньої обробки осадів господарсько-побутових стічних вод, які впливають на інтенсивність процесів гідролізу під час анаеробного зброджування. Представлено основні технологічні вимоги до організації процесів зброджування осадів стічних вод від авіапідприємств на стадії гідролізу органічних сполук. Проведено аналіз результатів техніко-економічного порівняння обраних варіантів попередньої обробки осадів. На підставі цього в статті сформувані висновки щодо доцільності використання тієї чи іншої технології попередньої обробки осадів стічних вод від авіапідприємства.*

## **TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF WASTEWATER SLUDGE PRETREATMENT BEFORE ANAEROBIC DIGESTION**

**S. V. Boichenko, S. Y. Shamanskyi, A. Y. Ilchenko**

*In the article the existing sewage treatment plant of Boryspil International Airport is characterized. Based on the researches, the most effective methods of pre-treatment of household wastewater sludges that affecting at the intensity of hydrolysis during anaerobic digestion was analyzed. The basic requirements for technological processes of digestion of wastewater sludges from aviation enterprise on the hydrolysis stage of organic compounds was presented. The analysis of technical and economic comparison results of selected variants of wastewater sludge pretreatment was performed. On this basis, it was formed conclusions regarding the usefulness of a technologies of wastewater sludge pretreatment from aviation enterprise.*

### **КОМПАУНДУВАННЯ БЕНЗИНУ А-92 З ЕТИЛОВИМ СПИРТОМ КАВІТАЦІЙНИМ МЕТОДОМ**

**С. В. Бойченко, В. Г. Ланецький, Л. М. Черняк,  
М. М. Радомська, О. Г. Кондакова**

*Сьогодні найбільше на стан навколишнього середовища у великих містах впливають викиди автомобільного транспорту. Серед токсичних речовин, що викидаються автомобілем, найбільш небезпечними є оксиди вуглецю, азоту та сірки, альдегіди, вуглеводні, аерозолі, а також важкі метали, що володіють канцерогенним та мутагенним потенціалом. Тому згідно директиви Європейського союзу екологічні вимоги до автомобільних емісій є пріоритетними.*

*Поліпшення експлуатаційних та екологічних властивостей автомобільних бензинів здійснюється за допомогою різних присадок. Зокрема, із застосуванням етанолу в якості компонента палива. Існують різні технології компаундування бензинів, але найбільш перспективною є технологія компаундування палива гідродинамічна кавітація, яка забезпечує високий рівень гомогенності отриманої суміші, відсутність розшарування компонентів та збільшення октанового числа.*

*Проведено дослідження ефективності компаундування автомобільного бензину марки А-92 з етиловим спиртом у кількостях 5, 10 та 20 %.*

### **COMPOUNDING GASOLINE A-92 WITH ETHANOL CAVITATION**

**S. Boichenko, V. Lanetskyi, L. Cherniak,  
M. Radomska, O. Kondakova**

*The road transport emissions currently have growing influence on the environment of big cities. Among the toxic substances, emitted by vehicles, the most harmful are carbon, nitrogen and sulfur oxides, aldehydes, hydrocarbons, aerosols and heavy metals, possessing carcinogenic and mutagenic potential. Therefore, according to the directives of the European Union environmental requirements to the regulation of automobile emissions are of high importance.*

*Improving performance and environmental properties of motor gasoline is performed with the help of different additives. In particular, ethanol is used as a fuel component. There are various technologies of gasoline compounding, but the most promising technology is compounding of the fuel with hydrodynamic cavitation, which provides a high level of homogeneity of the mixture, the absence of components separation and increased octane number.*

*Therefore, the study of compounding efficiency of gasoline A-92 with ethanol in amounts of 5, 10, 20 % was conducted.*

### **ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОІНФАРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГУ АКУСТИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

**В. І. Зацерковний, Н. В. Оберемок, Ю. С. Бондарь, І. В. Шерстюк**

*Розглянуто основні джерела акустичного забруднення навколишнього середовища та території мешкання населення до яких відносяться транспортна галузь, об'єкти виробничої, соціальної і побутової сфери. Питомий внесок цих джерел в акустичне забруднення варіюється в певних межах для різних міст і населених пунктів, але основним залишається транспорт і частка його постійно збільшується. Через зростання великих міст і агломерацій, розвитку транспорту і промислового виробництва проблема акустичного забруднення постала глобальним чином. Широке впровадження в промисловість нових інтенсивних технологій, зростання потужності і швидкодійності обладнання, широке використання численних засобів наземного, повітряного та водного транспорту, повсюдне застосування різноманітного електрифікованого побутового обладнання – все це призвело до того, що людина на роботі, в побуті, на відпочинку, при пересуванні постійно піддається багаторазовому шкідливому впливу шуму. Ви-*

значено основні питання моніторингу акустичного забруднення навколишнього середовища за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) та методи моделювання цього забруднення. Геоінформаційний моніторинг акустичного забруднення навколишнього середовища та території мешкання населення пропонується розглядати як складну систему. Розглянута класифікація геоінформаційного моніторингу, обґрунтована структурна схема системи, побудовані карти акустичного навантаження міста. Наведені результати експериментальних досліджень та математичного моделювання рівнів шуму від різних чинників. Виконано адаптацію існуючих методів картографування шуму. Проаналізовано стан акустичного середовища міста на основі створеної двовимірної горизонтальної карти шуму. Запропоновано рекомендації щодо зниження акустичного навантаження в місті на його мешканців.

## OPTIMIZATION GEONFORMATION SYSTEMS FOR TASKS OF MONITORING OF ACOUSTIC POLLUTION

*V. I. Zatserkovnyi, N. V. Oberevok, Y. S. Bondar, I. V. Sherstyuk*

*The main sources of acoustic contamination of an environment and the habitable areas, including the transport industry, the objects of industrial, the social and consumer industries, are considered. Gravity of these sources, during the acoustic contamination, varies widely for the different cities and residential area, however, the transport remains being primary and its shares is increasing continually. Due to the increase of megapolices and agglomeration, the intensive transport expansion and industry, the acoustic contamination problem is becoming global. Mainstreaming of modern high technologies in the industry, an expansion productivity of equipment, the usage of the multiple resources of land, air, railway water transports, common usage of various household electrical appliances—all these are leading to the repetitive contrarious noise, which a human suffers constantly being at work, in everyday life or on holidays. The main aspects of monitoring of environmental acoustic contamination with the help of GIS and a modelling approach of this pollution. Geoinformation monitoring of acoustic contamination of the environmental and habitable areas are supposed to be considered as a complex system. The classification of geoinformation monitoring is studied, the structural scheme of system is demonstrated, the plots of town acoustic load are compiled, the result of experimental researched and mathematics modeling of noise levels from the different factors. The adaptation of available methods of noise mapping are put into practice. The state of town acoustic conditions on the base of created two-dimensional horizontal noise profile is analysed. The instructions for the recession of town acoustic load on the inhabitants are suggested.*

## ПОБУДОВА, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ БОРТОВИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ І ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АВІОНІКИ СУЧАСНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

*В. П. Захарченко, С. С. Ільєнко, О. Ю. Курганський, В. В. Мухін*

*Розробка централізованих бортових систем діагностики і вбудованих систем контролю функціонування складних автоматизованих комплексів сучасних повітряних суден (ПС) на етапі проектування та використання їх під час льотній та технічній експлуатації при технічному обслуговуванні та ремонті (ТО і Р) дозволяє зменшити кількість випадкових відмовних ситуацій в польоті до майже неможливих. Це, в свою чергу вплинуло на глобальну стратегію підвищення безпеки польотів (стратегія ІСАО) та дозволило зменшити час обслуговування ПС при підготовці до польотів.*

*Ця складна, багатогранна задача вирішується за рахунок своєчасного інформування, як пілотів під час польоту, так і технічного персоналу під час обслуговування ПС «на землі». ТО і Р за допомогою централізованих бортових систем діагностики та вбудованих систем контролю (ВСК) щодо функціональних систем (ФС) сучасних ПС дає можливість отримати інформацію про стан та відмови ФС та відреагувати інженерно-технічному персоналу в стислі строки з можливістю дистанційного опрацювання даних про відмовні ситуації.*

## THE CONSTRUCTION, OPERATION AND MAINTENANCE CENTRALIZED ON-BOARD DIAGNOSTIC SYSTEMS AND EMBEDDED CONTROL SYSTEMS AVIONICS MODERN AIRCRAFT

**P. V., Zakharchenko C. C. Ilyenko A. Yu., Kurgan, V. V. Mukhin**

*Development of the central board diagnostic systems and embedded systems control the operation of complex automated systems of modern aircraft at the design stage and use them in flight and technical operation during maintenance and repair can reduce the number of random abandoned situations in flight to almost impossible. This, in turn, affected the global strategy of increasing safety (strategy ICAO) has reduced the time and aircraft maintenance in preparation for flight. This complex, multifaceted problem solved by timely informing the pilot during the flight and technical personnel in the service of the SS "on the ground". Maintenance and repair using centralized on-board diagnostic systems and embedded control systems on functional systems of modern aircraft enables to get information on the status and refusal to respond FS and engineering staff in the short term with remote data processing of Refusal situation.*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧІЇ В ТРУБІ ЗІ ЗВИТОСТЮ**

**A. O. Борисюк, Я. А. Борисюк**

*Розроблено метод, який дає можливість лише за даними відеозапису руху рідини у прямих трубах визначати зміни у її витратних характеристиках, що виникають внаслідок появи локальної планарної звитості труб. Цей метод ґрунтується на заміні реальної течії усередненою і подальшим знаходженням її витратних характеристик в термінах відповідних параметрів усередненої течії. Даний метод є неінвазивним, має інженерну точність і дозволяє виключати з розгляду ряд однакових факторів для початково прямої і в подальшому звитої ділянки досліджуваної труби. Крім того, він дає можливість визначати шукані витратні характеристики течії у будь-який момент після проведення відеозапису, не пов'язаний з вирішенням складних технічних завдань, а також не потребує спеціального обладнання, спеціальної фахової підготовки і значних фінансових та часових затрат*

### **DETERMINATION OF THE FLOW CHARACTERISTICS IN A PIPE WITH TORTUOSITY**

**A. O. Borysyuk, Ya. A. Borysyuk**

*A method is developed to allow one to find changes in the flow characteristics in straight pipes, caused by the appearance of their local planar tortuosity, based on the data taken from the appropriate video record of fluid motion in the pipes only. The method is based on replacement of real flow with the averaged one, and subsequent calculation of its characteristics in terms of the corresponding averaged flow characteristics. The method is non-invasive, has the engineering accuracy and allows one not to take account of a number of identical factors for the originally straight and subsequently tortuous segment of the pipe under consideration. In addition, it allows one to find the flow characteristics of interest at any time after carrying out the video record, is not associated with solving complicated technical problems, and does not require special facility to be used, special professional training and significant financial and temporal expenses.*

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Стаття має бути структурована (поділена на розділи з заголовками) і відповідно до вимог ВАК України мати такі елементи: 1) постановку проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; 2) аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; 3) формулювання цілей статті (постановка завдання); 4) виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; 5) висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Статтю подають у редакцію українською мовою, надруковану через 1 міжрядковий інтервал формату А4. Кожна сторінка повинна бути підписана всіма авторами.

**Обсяг статті з рисунками, таблицями, списком літератури, анотаціями — від 4 повних сторінок.**

Статтю необхідно супроводжувати:

- 1) експертним висновком, завіреним печаткою;
- 2) рецензією з зазначенням наукового ступеня рецензента, вченого звання, посади, місця роботи, завіреною печаткою;
- 3) індексом УДК з підписом бібліографа-класифікатора і штампом НТБ;
- 4) відомостями про авторів українською мовою (окремий файл і надрукована сторінка): прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада, місце роботи (без скорочень), напрям наукової діяльності, службова й електронна адреси, службовий і домашній номери телефонів;
- 5) анотаціями з назвою статті українською й англійською мовами;
- 6) дискетою зі статтею та відомостями про авторів.

Статтю набирають із абзацом — 0,5 см у текстовому редакторі Word for **WINDOWS 2003**. шрифтом Times New Roman (кегель 11) у режимі автоматичної розстановки переносів у такому порядку:

**(Windows 2007, Windows 2010 — не припустими)**

- 1) індекс УДК (зліва, зверху, кегель 11);
- 2) назва статті (по центру, відступ зверху 6 пт, кегель 11, великі літери, напівжирний);
- 3) ініціали, прізвища авторів (по центру, відступ зверху 6 пт, кегель 11, малі літери, напівжирний), назва організації, де працюють автори; електронна адреса одного з авторів статті;
- 4) анотації й ключові слова (перераховані через крапку з комою) до них, українською та англійською мовами (відступ зверху і знизу 6 пт, зліва і справа 0,5 см, кегель 10, курсив);
- 5) текст статті формату А4, поля: ліве — 2 см, праве — 2 см, верхнє — 2,25 см, нижнє — 2,25 см;
- 6) література (кегель 10,5);

Відступ заголовків (напівжирний шрифт), таблиць, рисунків від тексту зверху 3 пт, знизу 3 пт.

Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках справа.

Розшифровку літерних позначень величин у формулах подають упідбір.

Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation 5:

- 1) змінні, латинські літери – курсив, Times New Roman;
- 2) функції, цифри, українські літери – прямий, Times New Roman;
- 3) матриці, вектори – напівжирний, прямий, Times New Roman;
- 4) грецькі літери, символи – прямий, Symbol;
- 5) розміри: звичайний 11 пт, великий індекс 7 пт, малий індекс 6 пт, великий символ 14 пт, малий символ 11 пт.

Хімічні формули набирають прямим шрифтом.

Рисунки виконують у форматах Microsoft Word, TIFF, JPG, BMP (окремий файл). Елементи зображення мають бути якісними (300–600 dpi), чорно-білими, товщина ліній 2 пт. Деталі ілюстрації нумерують арабськими цифрами (кегель 11), починаючи з цифри 1, без пропусків і повторень або за годинниковою стрілкою, або по горизонталі зліва направо, або по вертикалі зверху вниз. Написи на рисунках замінюють літерами (кегель 9), а криві позначають цифрами (кегель 9), які роз'яснюються в

підписах до рисунків. Усі рисунки повинні мати підписи, які вирівнюють по центру. Підписи до рисунків (кегель 10) не допускається групувати з рисунками.

Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 10, курсив) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці (по центру, кегель 10, напівжирний). Усі рисунки і таблиці повинні мати посилання в тексті і бути розташовані після них. Виклад матеріалу має бути ясным, без повторів, без дублювання в тексті даних таблиць та їхніх заголовків, рисунків та підписів до них.

При виборі одиниць фізичних величин слід дотримуватися Міжнародної системи одиниць (СІ). У статті необхідно використовувати термінологію, прийняту Державним стандартом. За науковий зміст викладеного матеріалу і термінологію відповідають автори.

Назва статті має бути максимально стислою (до 8 слів, 2 рядка). Ключовим словом у назві статті має бути іменник у називному відмінку. Аббревіатуру розшифровують у тексті статті, починаючи з місця, де вона вперше трапляється.

У літературі (до 10 джерел), яка подається в порядку посилання, обов'язково вказують авторів, повну назву книги, том (номер, випуск), місто видання, видавництво, рік видання, загальну кількість сторінок книги, початкову і кінцеву сторінки статті (див. додаток).

Бібліографічні записи повинні бути пронумеровані й мати посилання на джерела в тексті статті в квадратних дужках. Посилання на неопубліковані роботи не допускаються.

**Література подається українською та англійською мовами.** До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без узгодження з автором. Статті, що не відповідають зазначеним вимогам, не розглядаються.