

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

СИСТЕМИ управління, навігації і зв'язку

Control, navigation and communication systems

Випуск 4 (62)

Issue 4 (62)

Щоквартальне видання

Засноване у 2007 році

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

Засновник і видавець:

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

Телефон:

+38 (050) 302-20-71

E-mail редколегії:

kuchuk_nina@ukr.net

Інформаційний сайт:

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

Quarterly

Founded in 2007

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

Founder and publisher:

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

Phone:

+38 (050) 302-20-71

E-mail of the editorial board:

kuchuk_nina @ukr.net

Information site:

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

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

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

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного університету
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (протокол від 25 листопада 2020 року № 7).*

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

Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії” до категорії Б – наказом МОН України від 17.03.2020 № 409 (зі змінами від 24.09.2020)

Полтава • 2020

Редакційна колегія

Головний редактор:

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

Заступники головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

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

Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна
(*канд. техн. наук, доц., Харків, Україна*).

Технічний секретар:

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

Editorial board

Editor-in-Chief:

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

Associates editor:

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

Editorial board members:

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

Responsible secretary:

Nina KUCHUK
(*PhD (Ped.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).

Technical secretary:

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

З М І С Т

<i>Шефер О. В., Борц В. В., Борц О. Б.</i> 90 років діяльності Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	4
--	---

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Аркушенко П. Л., Шефер О. В., Шейн І. В., Андрушко М. В., Флорін О. П.</i> Аналіз можливостей та досвіду застосування систем бортових вимірювань для проведення випробувань безпілотних літальних апаратів	9
<i>Верховський В. В., Самокіш А. В., Ушань В. М., Павленко М. А.</i> Методологія проектування тренажерів з імерсивним середовищем для підготовки пілотів цивільної авіації	15
<i>Торба А. А., Торба М. О., Торба О. О.</i> Радіочастотні комплекси виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів	21

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г.</i> Системи автоматичного регулювання параметрів в теплообмінниках темперуючих машин	25
<i>Кольвах С. С., Захарченко Р. В.</i> Визначення оптимальної швидкості обертання центрифуги для забезпечення якісного ущільнення бетону	31
<i>Пуйденко В. О., Харченко В. С.</i> Автоматні моделі та синтез засобів контролю апаратної реалізації алгоритмів заміщення кеш-пам'яті	34

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Ічанська Н. В., Дем'яненко В. О.</i> Освітні Інтернет ресурси та он-лайн середовища в навчально-виховній діяльності викладача закладу вищої освіти	40
<i>Лада С. В.</i> Дослідження множин несиметричних двооперандних дворозрядних операцій з подвійним циклом криптоперетворення	43
<i>Ліберг І. Г., Можжаєв О. О., Кучук Г. А.</i> Короткострокове прогнозування трафіка при статистичному мультиплексуванні ванні	47
<i>Ліпчанський М. В., Льяшенко О. О.</i> Порівняння підходів Code First та Design First в розробці API	51
<i>Поддубний В. О., Северінов О. В., Пустомельник О. С.</i> Менеджмент вразливостей як складова частина політики безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем	55
<i>Ruban I., Pina I., Mozhaiev M.</i> Researching priority directions in the area of data mining	59
<i>Саланда І. П., Бабій Н. В., Фурман О. А., Мельничук Ю. Є.</i> Методика синтезу гетерогенних інформаційних мереж на основі введення коригувальних циклів	64
<i>Туточко О., Larin V., Liuti A., Abdalla A.</i> Method of coding predictable frames with the account of management mechanisms for improving the quality of video information's service	69
<i>Філімончук Т. В., Мартовський В. О., Гондарєва Д. В.</i> Транзакції і блокування, рівні ізольованості транзакцій	73
<i>Cherednik O. S., Dmytrenko T. A., Derkach T. M.</i> Intelligent model development for recognizing emotions in text	77
<i>Шаповалова С. І., Мажара О. О.</i> Визначення ефективності механізмів логічного виведення	81
<i>Подорожняк А. О., Любченко Н. Ю., Гейко Г. В.</i> Нейромережева система розпізнавання авто номера	88

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Іванець Г. В., Іванець М. Г., Матухно В. В., Толкунов І. О., Стецюк С. І., Попов І. І.</i> Формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завданних збитків внаслідок них	92
<i>Касаткіна Н. В., Левченко Л. О., Тихенко О. М.</i> Проектування електромагнітних екранів композиційної структури для забезпечення стабільності функціонування об'єктів критичної інфраструктури	98
<i>Толкачов А. М., Третьяков О. В., Гарбуз С. В., Роянов О. М.</i> Теоретичне обґрунтування способу швидкої ліквідації льодяних заторів на ріках	102

ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Наврук І., Shyshatskyi A., Sova O., Lyashenko A., Palamarchuk S., Neroznak Ye., Velychko V.</i> Methods of cyber security assessment in the special purpose information and telecommunications system	109
<i>Дяченко В. О.</i> Інтелектуальні підходи енергозбереження у безпроводних сенсорних комп'ютерних мережах	114
<i>Indyk S., Lysechko V.</i> The formation method of complex signals ensembles with increased volume based on the use of frequency bands	119
<i>Makogon O., Dychko O., Isakov O., Lazuta R., Osmak H., Trotsko L.</i> Simulation an unreliable wireless sensor network mot by a heterogeneous queuing network	122
<i>Sokol G., Podhomyi P., Mishenko A., Piskovyi R., Herasymov D.</i> Prospects for the use of MIMO based on IEEE 802.11ac in IoT technologies	126

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	132
----------------------------------	-----

О. В. Шефер, В. В. Борщ, О. Б. Борщ

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

90 РОКІВ ДІЯЛЬНОСТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

Історія Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» бере початок з 12 грудня 1818 року, коли за ініціативи генерал-губернатора Полтавської та Чернігівської губерній, героя Вітчизняної війни 1812 р. М.Г. Рєпніна-Волконського та його дружини Варвари Олексіївни - онуки останнього гетьмана Лівобережної України Кирила Розумовського, доньки тогочасного міністра освіти Олексія Розумовського, палкої прихильниці культурно-просвітницьких ідей, в Полтаві було засновано Інститут шляхетних панн що став першим середнім навчальним закладом закритого типу для жінок-дворянок на терені губернських міст російської самодержавної імперії. Найбагатший полтавський поміщик-благодійник С.М. Кочубей (нащадок В.Л. Кочубея) надав частину своєї полтавської садиби, у якій і розмістився цей середній навчальний заклад закритого типу для дівчаток із збіднілих дворянських родин.

Відомо, що М.Г. Рєпнін-Волконський, українець за походженням, зробив суттєвий внесок в розбудову освіти на Полтавщині. Ним, окрім створення інституту шляхетних панн було засновано кадетський корпус у Полтаві. М.Г. Рєпнін-Волконський цікавився історією України, співчуваючи українському автономістському руху, послідовно відстоював інтереси українського населення перед російським урядом. Погляди М.Г. Рєпніна-Волконського призвели до його усунення Миколою I з посади генерал-губернатора та еміграції за кордон.

У період губернаторства М.Г. Рєпніна-Волконського протягом 1828—1832 років за планом архітектурної забудови, виконаними зодчими О.Штаубертом і Л. Шарлеманем, було збудовано приміщення для Полтавського інституту шляхетних панн на частині полтавської садиби найбагатшого полтавського поміщика-благодійника С.М. Кочубея (нащадок В.Л. Кочубея).

Нині це приміщення є центральним корпусом, складовою ансамблю будов Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (рис. 1).



Рис. 1. Сучасний макет будівель і споруд Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

За столітній період діяльності в Інституті шляхетних панн у різні роки працювали видатні діячі української, російської і чеської культур. Зокрема, відомий український поет-байкар, професор П. П. Гулак-Артемівський, видатний український і російський поет, драматург В. В. Капніст, відомі піаністи и композитори, збирачі українського фольклору – чехи Алоїз і Венцеслав Єдлічки,

художники Іван Зайцев, Катерина Рощина, Василь Волков, гравер Сплітстессер, зачинатель українського романтизму Левко Боровиковський та інші.

Інститут шляхетних панн закінчили відомі особистості, серед них: Варвара Рєпніна (донька В.О. та М.Г. Рєпніних, «добрий ангел» Т. Шевченка, який присвятив їй поему «Тризна»); представниці полтавської гілки нащадків О.С. Пушкіна та М.В. Гоголя: Софія, Наталія, Марія, Тетяна, Анна та Олена Бикови; художниця Юлія Волкова; доньки П. П. Гулака-Артемовського; відома українська письменниця-демократка Любов Яновська (у дівочтві Любов Щербачова), творчість і громадську діяльність якої високо поцінювали І.Я. Франко та М.М. Коцюбинський.

Зі стін інституту вийшли всесвітньо відома співачка, актриса, Олександра Сантагано (у дівочтві – баронеса фон Мезенкампф), скульпторка Єлизавета Трипільська, художниця Глафіра Псьол та поетеса Олександра Псьол, Олександра Шейдеман – майбутня дружина Панаса Мирного.

У різні роки інститут шляхетних панн відвідували І. П. Котляревський, Т. Г. Шевченко, М. В. Гоголь, В. А. Жуковський, декабристи Сергій та Матвій Муравйови-Апостоли, що без сумніву суттєво вплинуло на загальну атмосферу та зміст навчально-виховного процесу в інституті.

У січні 1918 року через складну військово-політичну ситуацію в Україні Інститут шляхетних панн було евакуйовано до Владикавказу.

У період з 1918 по 1930 роки в будові центрального корпусу колишнього Інституту шляхетних панн працювали різноманітні установи - землевпорядний технікум, дитячий притулок, школа садівництва благодійна організація «Ліга порятунку дітей», яку очолював письменник В.Г. Короленко, та інші заклади й організації.

У 30-ті роки минулого сторіччя в Радянському Союзі виникла гостра потреба в інженерно-будівельних кадрах для сільського господарства та промисловості. Залучення іноземних спеціалістів не задовольняло потреб молоді країни, що швидко розвивалася. Відповідно до постанови уряду СРСР від 23 липня 1930 р. за № 237 про утворення нових вищих навчальних закладів, наркомат земельних справ українського уряду видав 19 серпня 1930 року наказ про утворення Полтавського інституту сільськогосподарського будівництва. За рішенням Полтавської міської ради для інституту було виділено приміщення колишнього Інституту шляхетних панн. Так був створений Всесоюзний центр підготовки інженерів сільськогосподарського будівництва в м. Полтава.

На п'яти кафедрах єдиного на той час будівельного факультету новоствореного вищого навчального закладу працювало 33 викладачі та навчалися 282 студенти. Приєднання у 1933-1934 роках факультету сільськогосподарського будівництва Саратовського інституту сільського будівництва разом із 200 студентами до Полтавського інституту сільськогосподарського будівництва суттєво розширило його освітні можливості.



Рис. 2. Засновники освітніх традицій Полтавщини

Уже в 1940 році в інституті навчалось понад 500 студентів. За десять довоєнних років колектив інституту підготував понад 800 дипломованих спеціалістів – інженерів-будівельників для села.

На початку Великої вітчизняної війни(Другої світової війни) інститут було евакуйовано до міста Уральськ.

За період 1941-1945 рр. в Полтавському інституті сільськогосподарського будівництва підготовлено понад 2000 інженерів-будівельників. 267 студентів, викладачів та співробітників інституту воювали на фронтах Великої вітчизняної війни. Викладач інституту - доцент Д.М. Батищев особисто встановив прапор перемоги на початку травня 1945 року на одній з адміністративних будов у центрі Берліна.

Подвиги загиблих студентів, викладачів та співробітників інституту на фронтах Великої вітчизняної війни(Другої світової війни) увіковічені пам'ятником, встановленим на території Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Після звільнення Полтави від німецько-фашистських загарбників колектив інституту 19 жовтня 1943 року розпочав відбудову навчальних корпусів. Повне відновлення будівлі завершилося у 1955 році.

У 1961 році за наказом Міністерства вищої і середньої спеціальної освіти України № 12 від 9.01.1961 р. інститут перейменовано в Полтавський інженерно-будівельний інститут.

Упродовж 1954-1971 років відбувалось розширення будівельних профілів, за якими здійснювалась підготовка спеціалістів.



Рис. 3. Становлення флагами вищої освіти Полтавщини

Становлення та розвиток університету в різні періоди визначався його очільниками. Це: Д.І. Ілляшенко (1930 – 1934 рр.), Т.Т. Манько (1934 – 1937 рр.), Л. М. Даманський (1938 – 1953 рр.), І.С. Доценко (1953 – 1982 рр.), О.Г. Онищенко (1982– 2003 рр.) З 2003 року університет очолює доктор економічних наук, професор, Заслужений працівник освіти України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки Володимир Олександрович Онищенко.

З 1992 року колектив навчального закладу реформується із монопрофільного будівельного інституту до багатoproфільного закладу вищої освіти.

Завдяки кропіткій роботі професорсько-викладацького колективу навчального закладу над підготовкою навчальних робочих програм та планів, навчально-лабораторної і матеріально-технічної бази, науково-методичної літератури створено передумови успішної акредитації університету за IV, найвищим, міжнародним рівнем та перейменування його згідно з рішенням Кабінету Міністрів України від 29 серпня 1994 року на Полтавський технічний університет.

21 червня 1997 року з нагоди відзначення передовою громадськістю світу, України 100-річного ювілею від дня народження видатного теоретика космонавтики Юрія Кондратюка, рішенням уряду Полтавському технічному університету присвоєно його ім'я.

За рішенням Президента України 27 березня 2002 Університет отримав статус «Національний» і дістав назву «Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка».

Увіковічення пам'яті видатного полтавця, вченого-винахідника, інженера, одного з піонерів ракетної техніки та теорії космічних польотів Юрія Кондратюка в ПолтНТУ відбулось 30 травня 2017 року з нагоди 120-ої річниці від Дня його народження відкриттям пам'ятника. Відомо, що завдяки розрахункам Юрія Кондратюка американські космонавти вперше побували на Місяці.

Сьогодні Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» став потужним міжнародним авторитетним науковим й інноваційним центром – лідером на ринку освітніх послуг, у якому функціонує 8 структурних підрозділів, навчається більше 5 000 студентів, серед них близько 400 – іноземних громадян, діють 92 освітні програми, успішно впроваджуються сучасні тренди та підходи до викладання.

Колектив університету налічує близько 10 тисяч осіб, освітній процес забезпечують 350 докторів наук і професорів, кандидатів наук і доцентів.

Протягом багатьох років в університеті сформувалися та працюють 10 загальнонавчаних потужних наукових шкіл, які очолюють учені, відомі в Україні, та за її межами. Звання лауреатів Державних премій України в галузі науки і техніки отримали 10 співробітників, звання лауреатів премій Президента України для молодих учених – 19, а звання почесних професорів університету – 33, серед яких 7 іноземних громадян.

Високий науково-методичний потенціал дозволяє університету, що є членом Великої хартії університетів, активно інтегруватися до світового освітнього простору та розширювати географію міжнародних партнерів, яких нині налічується близько ста.

2 серпня 2019 року наказом №1054 Міністерства освіти і науки України Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка отримав новий виток у розвитку та нову назву – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Органічне поєднання класичних освітніх традицій, узагальнення багаторічних набутоків із надсучасними новітніми технологіями та генерацією нових креативних ідей дозволило динамічно трансформувати потужний заклад вищої освіти технічного спрямування в багатoproфільний європейський університет класичного типу, що дозволяє студентам опановувати не тільки технічні спеціальності, але й вивчати мистецтво, філологію, право, фінанси та економіку, займатися спортом, гармонійно інтелектуально та духовно розвиватися. За бажанням студент може навчатись на кількох спеціальностях одночасно.

Створена в університеті надсучасна матеріально-технічна база упродовж декількох останніх років суттєво оновилась, завдяки залученню інвестицій від провідних міжнародних компаній.

Молодь має унікальні можливості займатися 3D-моделюванням, робототехнікою, проводити наукові дослідження, випробування, займатися спортом в найсучасніших лабораторіях і майданчиках, працювати у навчальних філіях установ-партнерів університету, створювати власні стартапи і навіть успішно започаткувати власний бізнес. Разом із Інноваційним холдингом Sikorsky Challenge у 2018 році відкрито єдину на Полтавщині стартап-школу.

Зміст освітніх програм постійно адаптується для формування професійних компетенцій у майбутніх фахівців для роботи із сучасними технологіями.



Рис. 4. Найбільша європейська технологічна компанія Siemens відкрила в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» перший в Україні сучасний навчально-науковий центр нафтових і газових промислів

Велику увагу керівництво університету приділяє соціально корисним проектам та громадській діяльності. Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» став осередком популяризації наукової роботи серед молоді та діяльності Полтавського територіального відділення Малої академії наук України, відіграв важливу роль у включенні Національного центру «Малої академії наук України» під егіду ЮНЕСКО. Університет є майданчиком для розвитку учнівського та студентського спорту всеукраїнського рівня, популяризації здорового способу життя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка: історія і сучасність / Полтава. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка; [заг. ред. В. О. Онищенко; відп. ред.: Н. К. Кочерга, В. В. Сажко]. – Полтава : Наш друк, 2010. – 299 с.
2. Шандра В. С. Репнін Микола Григорович // Енциклопедія історії України : у 10 т. / редкол.: В. А. Смолій (голова) та ін. ; Інститут історії України НАН України. – К. : Наук. думка, 2012. – Т. 9 : Прил. С. С. 190. 944 с. – ISBN 978-966-00-1290-5. – URL : <https://nupp.edu.ua/page/istoriya.html>

Контроль космічного та повітряного простору

УДК 629.7.058

doi: 10.26906/SUNZ.2020.4.009

П. Л. Аркушенко¹, О. В. Шефер², І. В. Шейн¹, М. В. Андрушко¹, О. П. Флорін³

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

²Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

³Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ БОРТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація. У статті проведено аналіз можливостей та досвіду застосування систем бортових вимірювань для проведення випробувань безпілотних літальних апаратів, визначені шляхи удосконалення їх застосування.

Метою досліджень було вивчення можливостей застосування систем бортових вимірювань для проведення випробувань безпілотних літальних апаратів. Аналіз використання систем бортових вимірювань для проведення випробувань показав, що можливі наступні варіанти реалізації систем бортових вимірювань для безпілотних літальних апаратів: програмно-алгоритмічна реалізація з передачею інформації з борту безпілотного літального апарату на наземну частину комплексу для її подальшої обробки; реалізація систем бортових вимірювань на самому борту безпілотного літального апарату за рахунок обладнання бортовими засобами реєстрації параметрів польоту. В цьому варіанті розглядається передача параметрів польоту в реальному масштабі часу на наземну частину комплексу та накопичення її на борту для наступного зчитування (списування) та аналізу після здійснення польоту; використання в якості систем бортових вимірювань для проведення випробувань безпілотних літальних апаратів малогабаритних сучасних універсальних систем об'єктивного контролю на базі реєстраторів параметрів польоту типу РП-24 або БУР. Результати роботи доцільно використовувати при проведенні випробувань безпілотних літальних апаратів та інших типів озброєння та військової техніки науково-дослідними установами та підприємствами промисловості.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати; система бортових вимірювань; збір, обробка параметричної інформації.

Постановка проблеми

Актуальність даного питання обумовлена тим, що в умовах проведення операцій об'єднаних сил на сході країни до Збройних Сил України надходить багато безпілотних літальних апаратів (БпЛА) різного функціонального призначення, як вітчизняного так і іноземного виробництва. Спектр завдань, які виконують безпілотні літальні апарати досить широкий починаючи від цивільних – доставки пошти, перевезення вантажів, спостереження, охоронних операцій на об'єктах нафтогазового комплексу та енергетики, в зонах надзвичайних ситуацій, ведення геологорозвідки, до військових – розвідка, постановка радіоперешкод, управління вогнем і цілевказання, ретрансляції повідомлень і даних тощо. Виконання функціонального призначення БпЛА під час експлуатації залежить від багатьох факторів, одним з них є кількісна оцінка характеристик дослідного зразка БпЛА під час випробувань та підконтрольної експлуатації. Що в свою чергу можливо тільки з використанням вимірювальної техніки.

Кількість таких БпЛА чимала, принципи побудови різні, параметри, які підлягають випробуванням різноманітні. Провідними розробниками (виробниками), які здійснюють розробку в сфері інформаційно-вимірювальних систем, створено багато зразків, в тому числі для використання на повітряних суднах.

Вони потребують досконалого вивчення з метою можливості використання для проведення випробувань БпЛА. Наведені обставини та стрімкий розвиток технічних засобів вимірювань, перетворення та обміну даними всередині систем та між ними вимагають вдосконалення методів розробки і застосування бортових інформаційно-вимірювальних комплексів та реєструючих систем для забезпечення проведення випробувальних робіт, які враховують особливості розвитку електронного обладнання на даному етапі розвитку БпЛА, будуються на єдиному підході до проблеми оптимального використання ресурсів систем збору і обробки параметричної інформації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз стану використання засобів вимірювань, реєстрації та індикації, які входять до складу бортових інформаційно-вимірювальних комплексів і реєструючих систем при проведенні випробувань зразків ОВТ розглядався в ряді наукових матеріалів переважно лише стосовно пілотованих літальних апаратів, для вимірювання параметрів систем яких вони були розроблені [1-7]. Але питання використання систем бортових вимірювань для проведення випробувань БпЛА раніше не розглядалися.

Формулювання мети статті. Вивчення можливостей застосування систем бортових вимірювань для проведення випробувань безпілотних літальних апаратів.

Виклад основного матеріалу

Створення нових принципів застосування засобів ураження, організації різних систем зв'язку, навігації і спостереження, застосування багатофункціонального інтегрованого бортового обладнання (обчислювальних засобів, радіоелектронних засобів, засобів збору, передачі, збереження і відображення інформації) є домінуючими напрямками в модернізації електронного обладнання безпілотного авіаційного комплексу (БпАК). Бортові засоби реєстрації та контролю разом з наземною складовою для списання, обробки та аналізу польотної інформації відносяться до засобів експлуатаційного контролю БпАК. В даній статті розглядається обладнання, яке встановлюється на БпАК з метою збору та реєстрації параметричної, цифрової та відео інформації від систем комплексу у польоті та на землі, що в перспективі дозволить обґрунтувати завдання та визначити технічний обрис майбутньої системи (комплексу) автоматизованої обробки і аналізу параметричної інформації БпАК.

Параметрична інформація (ПІ) є важливішим джерелом об'єктивних даних про режими польоту, просторове положення, дії зовнішніх пілотів (операторів) та членів екіпажу БпАК та технічний стан контролюємих систем [4]. Тому процес оснащення БпАК з впровадженням нових інформаційних систем (ІС) в загальному дозволяє покращити ефективність їх бойового застосування та підвищити безпеку використання. Одночасно це веде до збільшення кількості форматів та об'єму циркулюючої на борту БпАК ПІ, яка реєструється різноманітними реєстраторами. При розробці наземних систем (комплексів) обробки ПІ їх виконавці не завжди дотримуються встановлених форм представлення результатів обробки [4], а відповідні керівні документи не завжди містять відомості про порядок їх обробки, представлення та зберігання (архівування). Через відсутність на даний час галузевої стратегії розвитку бортових систем збору і реєстрації ПІ та наземної її складової, яка призначена для списання та обробки ПІ, процес створення та модернізації означених носить безсистемний характер. Іноді для здійснення контролю параметрів систем одного типу БпЛА використовуються блоки та пристрої різного призначення і, відповідно, декілька наземних систем обробки ПІ, що є недоцільним з технічної, експлуатаційної та економічної точок зору.

Наземні системи обробки ПІ нового покоління володіють значно більшими функціональними можливостями, як по організації процесу обробки, так і по можливостям надання її результатів[2].

З метою вивчення можливостей використання системи бортових вимірювань (СБВ) при проведенні випробувань та підконтрольної експлуатації БпЛА наведемо визначення «системи бортових вимірювань» для БпЛА та проаналізуємо досвід провідних країн світу в використанні СБВ для проведення вимірювань параметричної інформації на БпЛА.

Одним із джерел отримання вихідних даних, які необхідні для оцінки результатів льотних випро-

бувань пілотованих та безпілотних ЛА є бортові інформаційно-вимірювальні системи, які включають комплекс технічних засобів вимірювань (первинні перетворювачі параметрів польоту, а також апаратні та програмні засоби збору та обробки). Вимоги до цих систем - це надійність і достовірність отриманих даних.

СБВ може використовуватися, як в процесі наземних випробувань, так і в ході льотних випробувань. В ході випробування, в залежності від завдання, досліджуються напружено-деформований стан корпусу літального апарату, впливу вібрації, температури, різного роду сил на його конструктивні елементи та системи.

Випробування проводяться, як в процесі розробки літального апарату, так і в процесі його модернізації, з метою отримання експериментальних даних літального апарату для перевірки та оновлення структурно-динамічних моделей, які, в свою чергу, можуть використовуватися для прогнозування його поведінки в процесі експлуатації.

Під час льотних випробувань безпілотних літальних апаратів потрібно контроль тих же параметрів, що і при випробуванні пілотованих - пасажирських і військових літаків і вертольотів.

Основні вимоги, що пред'являються до конструкції фюзеляжу – відповідність між реальною міцністю фюзеляжу і теоретичними розрахунками міцності.

БпЛА військового призначення мають найбільш різноманітні завдання, більш складну конструкцію, несуть різні види корисного навантаження, тому особливо важливим є успішне виконання бойового завдання: застосування засобів ураження, проведення повітряної розвідки та виключення падіння в зоні дій противника. І немає сумнівів у необхідності проведення льотних випробувань із застосуванням спеціальних систем бортових вимірювань. Класифікація БпЛА військового призначення наведено у [4].

Здавалося б, проблеми ніякої не існує і впроваджено багато рішень у пілотованій авіаційній промисловості та можна їх запозичити. Але не все так просто. Конструктори вирішують питання зменшення БпЛА для зниження їх помітності, габаритів та підвищення ваги корисного навантаження.

На сьогоднішній день проведення льотних випробувань великих БпЛА можливо з використанням звичайних систем збору даних, які не призначені для БпЛА з малою вантажопідйомністю.

Сучасний ринок вимірювального обладнання виявився не готовий до такого стрімкого розвитку безпілотної авіації.

Проаналізуємо, які СБВ використовуються у розвинутих в військовому відношенні в країнах світу для проведення випробувань БпЛА.

Система бортових вимірювань ГАММА-2110 (виробництво – Росія) наведена на рис. 1. Розробка 2000-х років. Система досить складна і вимагає багато уваги і часу на опанування. За масогабаритними характеристиками не підходить для легких БпЛА [8].



Рис. 1. Зовнішній вигляд СБВ ГАММА-2110

Комплекс бортових агрегованих засобів збору, перетворення і реєстрації інформації ГАММА-2110 призначений для вимірювання параметрів дослідних об'єктів, перетворених в електричні сигнали, запису результатів вимірювань паралельним двійковим кодом на магнітну стрічку з можливістю подальшої обробки та аналізу при проведенні льотних випробувань авіаційної техніки.

СБВ МІРА (виробництво Росія). Зазначена система, являє собою комплекс програмно-технічних засобів, призначених для забезпечення льотних випробувань військової техніки, виконана у вигляді розподільної вимірювальної системи, побудованої на базі малогабаритних модульних комплексів. Зов-

нішній вигляд розроблено для авіаційного застосування вимірювально-обчислювального комплексу МІС-1150.

Комплекс дозволяє встановлювати до восьми вимірювальних модулів. Кількість та склад вимірювальних каналів визначаються конкретним завданням випробувань та видом досліджень. Номенклатура вимірювальних модулів надає можливість вимірювань широкого спектру параметрів: температури, абсолютний та диференціальний тиск, акустичний тиск, вібрації, частота обертання, переміщення, динамічна деформація та інших параметрів. СБВ може працювати в автономному режимі, як аналог польотного реєстратора, маючи розширені можливості.

Виробник пропонує комплекс з систем:

- МІС-1150 Динаміка (тензо / вібро);
- МІС-700 Цифрові інтерфейси ARINC, МКО, RS-485, CAN;
- МІС-1150 Статика (тензо і ін.);
- МІС-1170 Розподілені блоки;
- МІС-1200 ДФМ;
- МІС-140Н Температури;
- МІС-170Н Тиску;
- МДУ-812 Кросировка живлення, системи синхронізації і інтерфейсів;
- МІС-1500 Дистанційний вимірювальний комплекс[9].

Системи КАМ500 І АХОН (виробництво АСРА control, США, Півн. Ірландія)

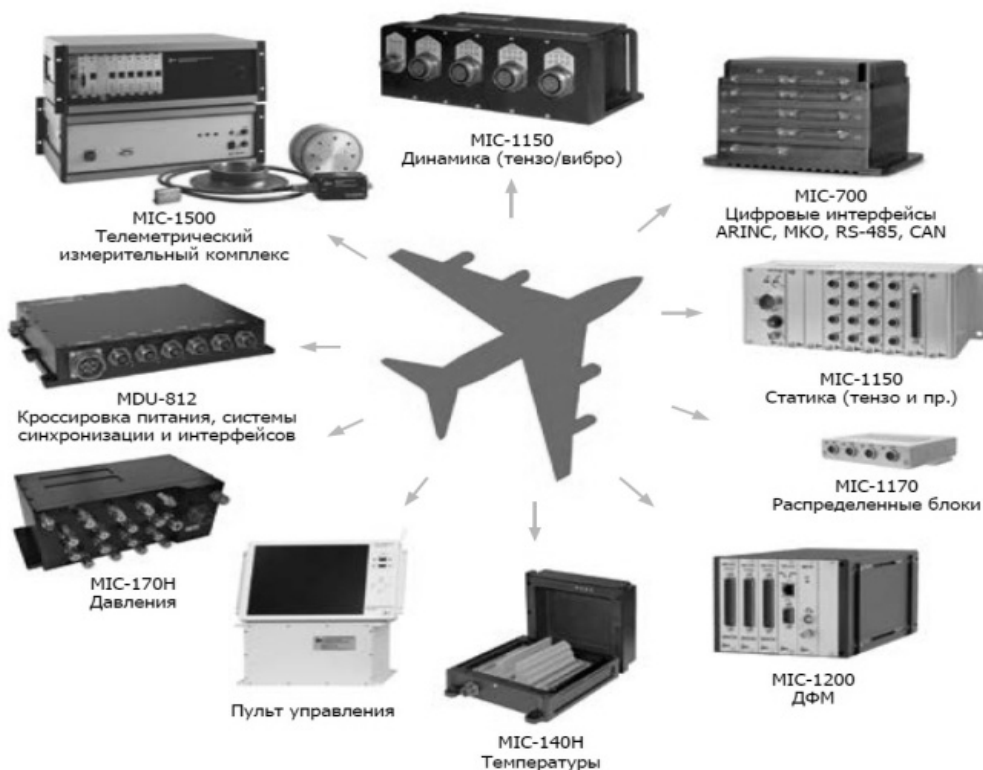


Рис. 2. Склад комплексу МІС-1150

Ці системи відомі по всьому світу і використовуються такими авіа гігантами, як Boeing і Airbus. Варіант системи АХОН показано на рис. 3.

Система призначені для встановлення на вертольоти, літаки, безпілотні літальні апарати та в контейнери.



Рис. 3. Варіант системи ACRA control AXON

Найбільший інтерес для безпілотних ЛА являє собою система AXON, вона розроблялася безпосередньо для цих цілей. Широкий функціонал, малі габарити і вага роблять її ідеальною для збору даних з БпЛА. Недолік один - система імпортна і її велика ціна.

Система бортових вимірювань IMC CRONOSFLEX (виробництво ФРН).

Для проведення льотних випробувань БпЛА відмінно підходять системи IMC CRONOSflex (рис. 4). Відмінна особливість - робота з телеметричними системами по цифровому каналу.

Можна приймати дані з обертових частин і економити за рахунок звільнення аналогових каналів. Також є багатий функціонал з управління і легко конфігурується ПО IMC Studio[10].

Дані системи за своїми можливостями мають низку важливих недоліків, які пов'язані з їх експлуатацією:

великі масо-габаритні розміри (багата кількість блоків – в деяких до 10 од., маса – до 30-40 кг та інші);

велика протяжність з'єднувальних міжблокових дротів та контактів;

напруга живлення одного номіналу (як правило +27 В);

гранична частота реєстрації параметрів польоту;

значні витрати часу на підготовку та монтаж обладнання на борту БпЛА.

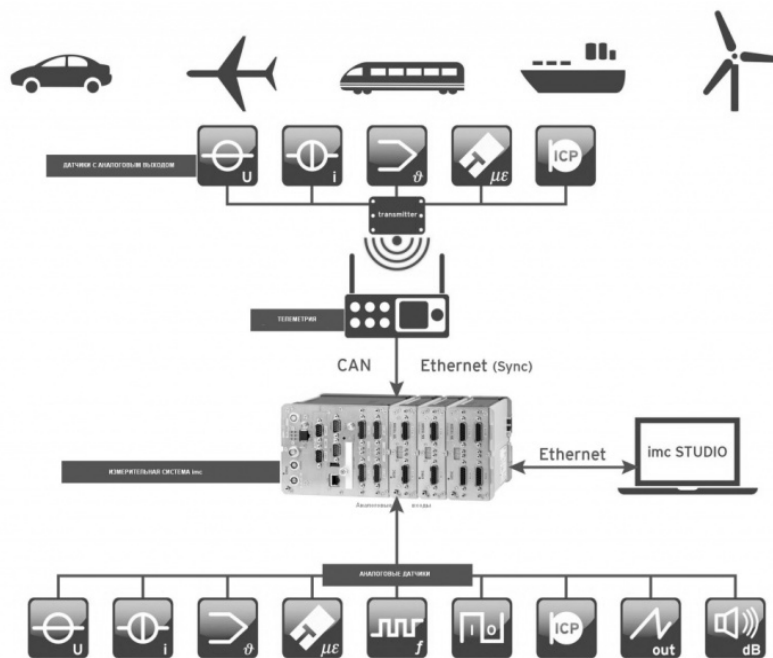


Рис. 4. Склад та принцип функціонування системи IMC CRONOSflex

Для виконання робіт, які пов'язані з проведенням тензометрії, використовується їх синхронізація за часом, встановлення додаткових пристроїв спряження. Це призводить до подальшого підвищення масо-габаритних розмірів СБВ.

Використання таких систем можливо на БпЛА, які мають достатньо великий простір для їх встановлення. Крім того, використання таких СБВ допускає виконання обробки та аналізу даних тільки на наземному комплексі (пристрої) обробки, що значно підвищує період часу від проведення льотного експерименту до отримання кінцевого результату.

Грамотне використання систем бортових вимірювань та відповідних наземних автоматизованих комплексів обробки ПІ під час випробувань БпЛА

показує, що вони в сучасних умовах дають дієвий імпульс в широкому використанні різносторонньої параметричної інформації для підвищення безпеки польотів, контролю працездатності БпЛА а саме:

дозволяють своєчасно і оперативно виявляти небезпечні фактори та тенденції в роботі техніки та здійснювати інформування компетентних органів;

здійснюють автоматизоване узагальнення результатів польотів з метою виявлення негативних тенденцій і факторів, що знижують рівень виконання польотних завдань;

створюють умови для всебічного аналізу стану та вироблення конкретних шляхів і програм запобігання зриву та не забезпечення виконання польотних завдань;

надають широку інформаційну підтримку посадовим особам, які несуть відповідальність за технічний стан БпЛА;

дозволяють здійснювати автоматизовану оцінку працездатності систем БпЛА під час випробувань та підконтрольної експлуатації.

Також в роботі [11] було розглянута можливість використання засобів об'єктивного контролю, в особливості реєстратора РП-24, в якості СБВ для застосування в якості малогабаритної системи бортових (об'єктових) вимірювань під час випробувань зразків ОВТ. Була здійснена оцінка достатності технічних характеристик дослідного зразка реєстратора польотних даних. Реєстратор польотних параметрів РП-24 призначений для збору, підготовки і запису в захищені твердотільні флеш-накопичувачі параметричних даних та аудіо інформації, що створюються на повітряному судні, та її копіювання на наземні засоби перезапису для подальшої обробки (рисунок 5).



Рис. 5. Зовнішній вигляд реєстратора польотної інформації РП-24

В результаті проведеного аналізу встановлено, що реєстратор польотних параметрів РП-24 є достатньо функціональним, універсальним пристроєм та є можливість його застосування в якості системи бортових (об'єктових) вимірювань під час випробувань зразків різних видів ОВТ, в особливості для випробувань БпЛА.

Сукупність технічних характеристик реєстратора РП-24 дозволяє вважати його системою, яка може встановлюватись та експлуатуватись на зразках техніки військового призначення, що випробується.

Можливості малогабаритної СБВ на базі реєстратора польотних параметрів РП-24 сумісно з програмним забезпеченням для перезапису та обробки зареєстрованої інформації, повністю задовольняють сучасним вимогам, які пред'являються до СБВ та забезпечують впевнену експлуатацію системи як на землі так і в повітрі.

Більш детально склад, характеристики, принципи побудови цих систем розглянуто в [12], тому далі зупинимося лише на особливостях їх конструкції, недоліках, та можливих шляхах їх вирішення.

Проведений аналіз показує, що можливі такі варіанти реалізації СБВ для БпЛА:

програмно-алгоритмічна реалізація з передачею інформації з борту БпЛА на наземну частині

комплексу (на пункт дистанційного пілотування (ПДП)) для її подальшої обробки;

реалізація СБВ на самому борту БпЛА за рахунок обладнання бортовими засобами реєстрації параметрів польоту. В цьому варіанті розглядається можливість передачі параметрів польоту в реальному масштабі часу на ПДП та накопичення її на борту для наступного зйому та аналізу після здійснення польоту;

використання в якості СБВ для проведення випробувань БпЛА малогабаритних сучасних універсальних систем об'єктивного контролю на базі реєстраторів параметрів польоту типу РП-24 або БУР.

Висновки

Отже, аналіз використання СБВ під час проведення випробувань та підконтрольної експлуатації БпЛА показав що:

- сучасні БпАК є достатньо потужним видом озброєння з великим потенціалом застосування. Завдання системи контролю працездатності БпЛА направлені на ефективне бойове застосування БпЛА, підвищення безпеки польоту, поліпшення контролю і прогнозування технічного стану авіаційної техніки та визначаються вимогами щодо бойового застосування БпЛА і контролю їх технічного стану. Системи контролю тактичних, оперативних, оперативно-тактичних і стратегічних БпЛА різні за обсягом та ступенем складності, що визначає актуальність створення уніфікованої вітчизняної малогабаритної СБВ БпАК;

- вирішенням проблеми встановлення системи бортових вимірювань на БпЛА є побудова малогабаритної універсальної системи бортових вимірювань для БпЛА, яка повинна забезпечувати запис та зберігання інформації про параметри польоту, працездатність силових установок, систем та обладнання БпЛА відповідно до визначених експлуатаційною документацією переліків параметрів для певного типу БпЛА. Повинна бути передбачена можливість передачі параметрів польоту та роботи систем, що реєструються СБВ на ПДП в реальному масштабі часу;

- для створення наземних комплексів обробки параметричної інформації, яка отримана СБВ, повинні бути розроблені уніфіковані вимоги. Найбільш прийнятним шляхом оптимізації і стандартизації застосовуваних в наземних комплексах обробки польотної інформації апаратних засобів є розробка та прийняття на постачання єдиного універсального програмно-апаратного комплексу обробки, який би підтримував функції та завдання прийнятих на постачання наземних засобів обробки та дозволяв виконувати додаткові завдання шляхом введення окремих програмних модулів [13-15];

- основою апаратної частини наземної частини комплексу обробки польотної інформації з технічної та економічної точки зору може бути ПЕОМ з комплектом відповідних інтерфейсних плат та універсальний пристрій перезапису, який забезпечував би зчитування з борту БпЛА параметричної інформації усіх застосовуваних форматів;

- враховуючи, що висока ефективність об'єктивного контролю досягається високим ступенем вірогідності прийнятих рішень за кожним оцінюваним параметром польоту БпЛА, СБВ повинні забезпечувати ухвалення рішення за кожним оцінюваним параметром з вірогідністю, не нижче заданої, при мінімальному часі доставки параметричної інформації до місця обробки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила об'єктивного контролю в державній авіації України: наказ Міністерства оборони України від 03.12.2014 № 860.–2014.– 37 с.
2. Андрушко М.В. Дослідження шляхів створення системи об'єктивного контролю сучасних БпЛА та уніфікації наземних систем обробки інформації /М.В. Андрушко, С.В. Ратушний// Системи озброєння і військова техніка. – 2018. - № 2(54). -С.67-76.- DOI: 10.30748/soivt.2018.54.09. Режим доступу: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/18805/soivt_2018_2_11.pdf
3. Брагин А. Малогабаритная система бортовых измерений для летных испытаний воздушных судов малой размерности. [Електрон. ресурс] /А. Брагин, А. Лукьянов// СТА. – 1/2012. – С. 74-82. – Режим доступу: <http://www.cta.ru/>.
4. Правила виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України. (введені в дію Наказом міністерства оборони України від 08.12.2016 р. № 661).
5. ОСТ 1 00774-98 Система сбора и обработки полетной информации самолетов (вертолетов). Общих технические требования.
6. Система бортовых измерений ГАММА-2110 АО НПО “Прибор”. [Електрон.ресурс]/АО НПО “Прибор”. – Режим доступу: <http://www.npo-pribor.ru/catalog/aviatsionnye-priborostroeniye/sistemy-bortovykh-i-nazemnykh-izmereniy/sistema-bortovykh-izmereniy-gamma-2110/>
7. Цибагов В.А. Оптимизация бортовых систем сбора и обработки данных // В.А.Цибагов М.: Наука, 1983. – 176 с.
8. Бортовые измерительные системы. НПП “Мера”. [Електрон.ресурс] / НПП Мера. – Режим доступу: <http://www.nppmera.ru/>.
9. КАМ-500. Сбор данных. Обзор системы компании КАМ-500 компании Асра. [Електрон.ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cwc-ae.com/>.
10. Современные измерительные системы и их возможности (на примере продукции фирмы imc). [Електрон.ресурс] / Sensorika–Режим доступу: <http://www.sensorika.com/>.
11. Дослідження можливостей застосування дослідного зразка реєстратора польотних параметрів РП-24 в якості системи бортових (об'єктових) вимірювань під час випробувань зразків ОВТ: Звіт про НДР: ДНДІ ВС ОВТ; керівник: С.В. Ратушний; відп. викон.: О.Є.Кузьміч, Чернігів.– 2018.– С.11-42.
12. Обґрунтування варіантів використання бортових інформаційно-вимірювальних комплексів та реєструючих систем під час випробувань озброєння та військової техніки різного функціонального призначення. Звіт про НДР: ДНДІ ВС ОВТ; керівник: С.В. Ратушний; відп. викон.: К.В.Андреев, Чернігів, 2018.– С.12-42.
13. Сівак В. Обґрунтування напрямів створення системи об'єктивного контролю сучасних безпілотних авіаційних комплексів та модернізації наземних систем обробки інформації // В. Сівак, М. Андрушко, В. Ляшенко, В. Ясько / Збірник наукових праць національної академії державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. – 2019. – 3(81). – С.486-504. – режим доступу: http://periodica.nadpsu.edu.ua/index.php/military_tech/article/download/489/470/
14. Перспективы развития бортовых регистраторов. Новости зарубежной науки и техники. Серия: Летные испытания за рубежом. Сборник обзоров. № 2. – С. 65 – 68.
15. Scientific and practical implementation of methods improving the quality of computer-integrated information system / O. Shefer, V. Halai, B. Topikha // Intelligent computer-integrated information technology in project and program management: Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko, V. Timofeyev. – Riga: ISMA, 2020. – pp. 295- 315.

Received (Надійшла) 15.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.10.2020

Analysis of possibilities and experience of application of on-board measurement systems for undertaking aircraft tests

P. Arkushenko, O. Shefer, I. Shein, M. Andrushko, A. Florin

Abstract. The article analyzes the possibilities and experience of using onboard measurement systems for testing unmanned aerial vehicles, identifies ways to improve their application. The aim of the research was to study the possibilities of using on-board measurement systems for testing unmanned aerial vehicles. Analysis of the use of on-board measurement systems for testing has shown that the following options for the implementation of on-board measurement systems for unmanned aerial vehicles are possible: software-algorithmic implementation with the transfer of information from the unmanned aerial vehicle to the ground part of the complex for its further processing; implementation of on-board measurement systems on board the unmanned aerial vehicle due to the equipment of on-board means of registration of flight parameters. This option considers the possibility of transmitting flight parameters in real time to the ground part of the complex and its accumulation on board for subsequent reading (writing off) and analysis after the flight; use as on-board measurement systems for testing unmanned aerial vehicles of small modern universal systems of objective control on the basis of registrars of flight parameters such as RP-24 or BUR. The capabilities of the small-scale on-board measurement system based on the flight recorder, combined with software for rewriting and processing of registered information, fully meet modern requirements for these systems and ensure their reliable operation both on the ground and in the air. The results of the work should be used in the testing of unmanned aerial vehicles and other types of weapons and military equipment by research institutions and industrial enterprises.

Keywords: unmanned aerial vehicles; on-board measurement system; collection, processing of parametric information.

В. В. Верховський¹, А. В. Самокіш, В. М. Ушань, М. А. Павленко²

¹Льотна Академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

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

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТРЕНАЖЕРІВ З ІМЕРСИВНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

Анотація. В статті розглянуто основні підходи до розробки нових методів проектування тренажерів з імерсивним середовищем для підготовки пілотів цивільної авіації. Незаперечно, що ефективність навчання і придбання льотним складом практичних навичок в рамках навчального процесу з використанням віртуальних тренажерів можуть запропонувати будь-які складні, недоступні або дорогі в реальному житті устаткування і матеріали, необмежений час для спроб і усвідомлення досліджуваних процесів, без небезпеки для життя. Важливим фактором, що визначає потребу віртуальних тренажерів є спосіб їх створення, що, в свою чергу, породжує задачу формування особливого середовища для їх швидкого проектування, головним чином експертами конкретної предметної області, які не мають глибоких навичок програмування. Особливо роль відіграють кордони контакту людини з віртуальним світом, що забезпечують включення і занурення в його зміст, та дають можливість ефективної і безпечної взаємодії з ним.

Ключові слова: проектування, підготовка льотного складу, авіаційний тренажер, імерсійні середовища.

Постановка проблеми

Однією з умов розвитку цивільної авіації є постійно зростаючі вимоги щодо забезпечення безпеки польотів. Відомо [1], що не менше половини авіаційних інцидентів, що сталися за останні роки в усьому світі, викликані помилками льотного складу. Також відомо [2], що поліпшення якості виконання польотних завдань на тренажерах призводить до різкого зниження ймовірності авіаційних інцидентів в льотній експлуатації повітряних суден. Очевидно, що одним з основних шляхів зменшення числа авіаційних інцидентів з вини льотного складу представляються індивідуальний (з урахуванням реальних можливостей пілота) підхід до навчання пілотів і постійний контроль за формуванням їх важливих професійних якостей. Сприятим вирішенню зазначеної проблеми може розробка нових методів проектування тренажерів для забезпечення процесу тренажерної підготовки льотного складу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [3] встановлено, що суть безпосередньо тренажерної підготовки полягає в рішенні трьох видів завдань: процедурні – управління системою зв'язку, робота з навігаційним обладнанням, управління паливною системою, робота з датчиками; вирішальні планування польоту, дії в екстремальних ситуаціях, визначення порядку операцій, розподіл обов'язків між членами екіпажу; прецептуально-моторні – географічне орієнтування, пілотування літака, ведення зв'язку, визначення та ідентифікація небезпеки.

В роботі [4], сукупність факторів технічного, економічного і наукового характеру зумовила формування тренажерної підготовки як щодо самостійного наукового напрямку.

Однією з умов ефективного застосування тренажерної підготовки є наявність методичного та програмно-технічного забезпечення, що відповідає інтелектуальному рівню розвитку тренажерних технологій [5]. При цьому відзначимо, що основна ува-

га сучасних досліджень приділяється розробці автоматизованих навчальних систем.

Так предметом наукових досліджень в роботі [6] стало підвищення ефективності професійної підготовки льотного складу при експлуатації повітряного судна нового покоління шляхом реалізації компетентнісного підходу з використанням автоматизованої навчальної системи.

В роботі [7] обґрунтовано необхідність вдосконалення методів і засобів профпідготовки льотного складу за допомогою застосування аналітичних та контролюючих програм на базі персонального комп'ютера в рамках самостійної підготовки майбутніх пілотів.

Однак сьогодні ще недостатньо розроблені та залишаються питання проектування комплексних тренажерів з зануренням у імерсійні віртуальні середовища.

Формулювання мети статті. Визначення нових методів розробки багатокористувацьких адаптивних тренажерів для підвищення рівня тренажерної підготовки пілотів цивільної авіації.

Виклад основного матеріалу

Процес підготовки пілотів цивільної авіації – це керований процес взаємодії особи (пілота) з навчальним курсом (або областю знань), освоєння якого необхідно і достатньо для здійснення професійної діяльності, а саме для повітряної експлуатації літальних апаратів (ЛІА). Сукупність навчальних матеріалів та зв'язків між ними, що визначають їх логічну взаємообумовленість – простір знань навчального курсу. Таким чином, процес підготовки – це діяльність особи (пілота) з освоєння простору знань як системно організованої структури, що приводить до інтеграції знань, отриманих в результаті виконання дій, і в підсумку призводить до синтезу цілісної системи знань у пілотів.

Компетентнісно-орієнтована модель процесу підготовки пілотів повинна:

- відображати властивості цілісності простору знань курсу підготовки;
- відображати процес підготовки як процес освоєння простору знань;
- дозволяти оцінювати ступінь досягнення мети підготовки як освоєння знань та умінь в їх цілісності, а саме оволодіння професійними та загальнокультурними компетенціями.

Концептуальна модель процесу підготовки є описом ключових компонентів процесу підготовки, їх властивостей та взаємозв'язків, що реалізують професійні компетенції [8].

Модель простору знань K можна представити так:

$$K = \langle S, R \rangle \quad (1)$$

де S - множина елементів простору знань, R - множина відносин щодо S , що забезпечують зв'язність і повноту моделі простору знань K .

Виділяють чотири стадії формування льотних навичок.

У початковий період (перша стадія) підготовки пілотування в складному польотному завданні, коли навички ще не сформовані, освоєння програми дій, прийомів реалізації кожної робочої операції і їх значимості пов'язане з неадекватною складністю завдань, зростанням рівня фізіологічних реакцій.

На другій стадії, у міру вдосконалення рухових навичок, структури розподілення та переключення уваги, процесів переробки інформації, енерговитрати організму та рівень нервово-емоційної напруги пілота знижуються, що проявляється в послабленні фізіологічних реакцій.

Третя стадія характеризується високою і стабільною якістю пілотування, оптимальним і відносно стійким рівнем фізіологічних реакцій організму, відповідним складності виконуваного завдання, що свідчить про високу ефективність фізіологічних витрат і достатньою натренованість пілота. Зростають резервні можливості пілота з виконання додаткової завдання в процесі пілотування.

Четверта стадія може виявлятися тоді, коли процес відпрацювання конкретної вправи надмірно затягнувся, і в льотного складу знижується інтерес та з'являється байдужість до тренувань. При цьому поряд зі зниженням рівня нервово-емоційної напруги відзначається збільшення помилок управління.

Професійна льотна діяльність забезпечує формування складних навичок і умінь взаємодії пілота з ЛА в умовах впливу різноманітних внутрішніх і зовнішніх факторів польоту. Навички, що формуються, закріплюються і підтримуються в процесі льотної діяльності, називають льотними навичками. Питання формування льотних навичок розглядаються в льотно-методичному (психолого-педагогічному), інженерно-психологічному, психофізіологічному та медичному аспектах. Навички та вміння пілотування можуть характеризуватися умінням пілота правильно вибирати і точно витримувати значення керування параметрів польоту на кожній окремій ділянці пілотування. За цією ознакою виділяють комплекси умінь і навичок пілотування. Дії пілота з ор-

ганями управління в кабіні, в залежності від виконуваного елемента пілотування, характеризуються комплексом льотних операторських навичок та умінь. Льотні навички характеризуються матеріальними ознаками, в ролі яких виступають параметри якості пілотування, руху органами управління і параметрами стану самого пілота.

Необхідні навички пілотування відпрацьовуються в результаті багаторазових повторень при виконанні спеціально продуманих вправ в ході навчання на тренажері та в польоті. Іншими словами, виробляється динамічний стереотип для різних умов польоту. Труднощі підготовки можуть виникати при виробленні умінь швидко орієнтуватися в складній обстановці, в придбанні навичок без зволікання приймати правильне, а часом єдине вірне рішення.

Підготовка льотного складу до пілотування ЛА має проводитися в строго визначеній послідовності і за спеціальними програмами, виконання яких повинно бути чітко визначено методичними аналізами по кожному типу ЛА. Процес підготовки льотного складу до пілотування проводиться по етапах в наступній послідовності:

- теоретичні заняття в класі;
- практичні заняття на тренажері кабіних процедур в кабіні ЛА або в статичному положенні на комплексному тренажері літака, в крайньому випадку - в кабіні ЛА;
- імітації польоту в процесі пілотування на комплексному тренажері;
- польоти в районі аеродрому.

Тренажерна підготовка, як етап, підготовки до льотної діяльності, вирішує завдання остаточного формування готовності майбутнього пілота до льотної практики, використовуючи наявні можливості діагностики і коригування професійно важливих якостей.

Застосування на цьому етапі досягнень авіаційної педагогіки та психології дозволяє підвищити ефективність процесу формування професійної надійності. Тренажерна підготовка є специфічним етапом професійної підготовки пілотів. Як показали дослідження [9-11], саме тренажерні засоби підготовки здатні бути тим інструментарієм, за допомогою якого можливий всебічний підхід до підготовки пілотів цивільної авіації, що дозволяє формувати знання, навички та вміння, що важливі для професійних якостей та компетенцій пілотів.

У загальному випадку тренажер літака являє собою спеціалізований комплекс технічних засобів, що моделюють процес пілотування в наземних умовах з високим ступенем подібності. Тренажер є універсальним засобом наземної підготовки льотного складу і служить для вирішення наступних основних завдань:

- ознайомлення з діями органів управління літального апарату і його систем;
- відпрацювання навичок з оцінки обстановки і прийняття рішення в особливих випадках польоту і при виконанні тактичних завдань;
- відпрацювання навичок дій в особливих випадках в польоті;

- відпрацювання навичок дій органами управління за елементами польотних завдань;
- автоматизована постановка завдання на льотну зміну;
- самостійна підготовка до польотів;
- груповий контроль готовності до виконання польотного завдання;
- розбір польотів індивідуальний і в складі льотної групи.

Ефективність підготовки льотного складу на авіаційних тренажерах визначається наступними положеннями:

- на тренажері простіше і безпечніше, ніж в польоті, відпрацювати багато операцій, багаторазово їх повторюючи;
- на тренажері безпечно відпрацювати дії льотного складу при моделюванні аварійних ситуацій, які неможливо або небезпечно створювати в реальному польоті;
- експлуатація тренажера набагато економніше, ніж літака.

Підготовка на тренажерах дає широкі можливості в дослідженні нових прогресивних методів і прийомів навчання, дозволяє проводити аналіз допущених помилок в техніці пілотування і експлуатації систем літака. Авіаційний (пілотажний) тренажер – це імітатор польоту, призначений для наземної підготовки пілотів. В авіаційному тренажері імітується динаміка польоту та робота систем ЛА за допомогою спеціальних моделей, реалізованих в програмному забезпеченні обчислювального комплексу тренажера.

Тренажери цивільних ЛА мають більш високий рівень досконалості, оскільки в цивільній авіації діють жорсткі стандарти JAR-FSTD та ICAO 9625 [12], що детально визначають відповідність тренажерної моделі реальному ЛА. Авіаційні тренажери можна розділити на чотири основні групи: Full Mission Simulator (FMS), Full Flight Simulator (FFS), Flight Training Device (FTD), Flight Procedures Training Device (FPTD) [12]. У сучасній практиці підготовки пілотів цивільної авіації найбільшого поширення набули комплексні тренажери (FFS) і процедурні тренажери (FPTD).

Комплексними тренажерами називають тренажери, обладнані системою рухливості. Це тренажери найвищого рівня. Кабіна комплексного тренажера виконується у вигляді реальної кабіни літального апарату. На комплексні тренажери встановлюються передові системи візуалізації. Такі тренажери реалізують навчання на більш досконалому рівні і мають такі основні властивості: максимальне наближення умов діяльності льотчика до умов реальної діяльності в польоті; забезпечення відпрацювання на імітаторі в цілому всіх завдань реальної діяльності льотчика, яку він здійснює в польоті; забезпечення можливості об'єктивного контролю результатів всіх відпрацьовуються на комплексному симуляторі завдань в цілому. Комплексний тренажер є найвищим рівнем технічних засобів навчання для підготовки льотного складу і має можливість відпрацювання всіх без виключення режимів експлуатації ЛА.

У традиційному «тренажерному» напрямку розвитку технічних засобів навчання проводяться дослідження щодо зниження потреби в дорогих комплексних авіаційних тренажерах. Вважається, що це може бути досягнуто за рахунок застосування тренажерних систем, до складу яких повинні входити різні за рівнем складності пристрою, починаючи від найпростіших процедурних і спеціалізованих тренажерів і закінчуючи комплексними, які об'єднуються на модульних принципах [4].

Віртуальне оточення повністю відокремлює користувача від реальної реальності (RR) с допомогою VR-шолома, навушників, джойстиків, контролерів, рукавичок, інших пристроїв і замінює її симуляцією. Віртуальна реальність визначається як інтерактивна тривимірна графічна сцена, яка використовує спеціалізовану технологію відображення, занурює користувача в реальному часі в створений світ, з прямим маніпулюванням об'єктами в модельному просторі. Системи віртуальної реальності дозволяють підтримувати інтерактивну взаємодію з високим ступенем занурення.

Технічна реалізація "віртуальної реальності" змінювалася слідом за розвитком комп'ютерів і засобів відображення. На зміну експериментальних додатків 1980-х прийшли складні програмно-апаратні комплекси 1990-х для військових, промислових і дослідницьких завдань. Спочатку це була дороге стереоскопічні установки для вузькоспеціального застосування.

З 2000-х років зростання продуктивності графічних процесорів забезпечило перехід технології віртуальної реальності у все більш масову нішу, вона стала доступна для будь-яких систем підготовки. Подолання недоліків VR-технології наведено на рис. 1.

Відомі такі типи віртуальної реальності:

- VR без занурення;
- VR зі спільною інфраструктурою;
- VR з ефектом повного занурення.

Незважаючи на те, що недоліки VR-технології ще не подолані повністю, сьогодні навряд чи знайдеться область діяльності, де ще немає прикладів використання віртуальної реальності, зокрема, в навчанні - це різноманітні тренажерні системи, призначені для навчання професійним навичкам.

Віртуальна реальність з ефектом занурення вимагає присутності деяких факторів, таких, як:

- 1) наявність досить продуктивної техніки, здатної швидко розпізнавати дії суб'єкта і реагувати на них в режимі реального часу;
- 2) реалістична, деталізована симуляція світу з ефективним поданням об'єктів у віртуальному середовищі;
- 3) спеціальне обладнання, включаючи новітні імерсійні середовища.

Одним з найважливіших властивостей віртуальної реальності є імерсійність – ступінь занурення суб'єкта в віртуальний світ, що досягається шляхом генерації максимальної схожості останнього з реальним світом за допомогою симуляції. Перевагою симуляції над імітацією є копіювання об'єктів і по-

дій на рівні моделі. Віртуальна реальність симулює щось, що не існує в реальності. Таке занурення у

визначенні, штучно синтезовані умови віртуальної реальності називають імерсійним середовищем.

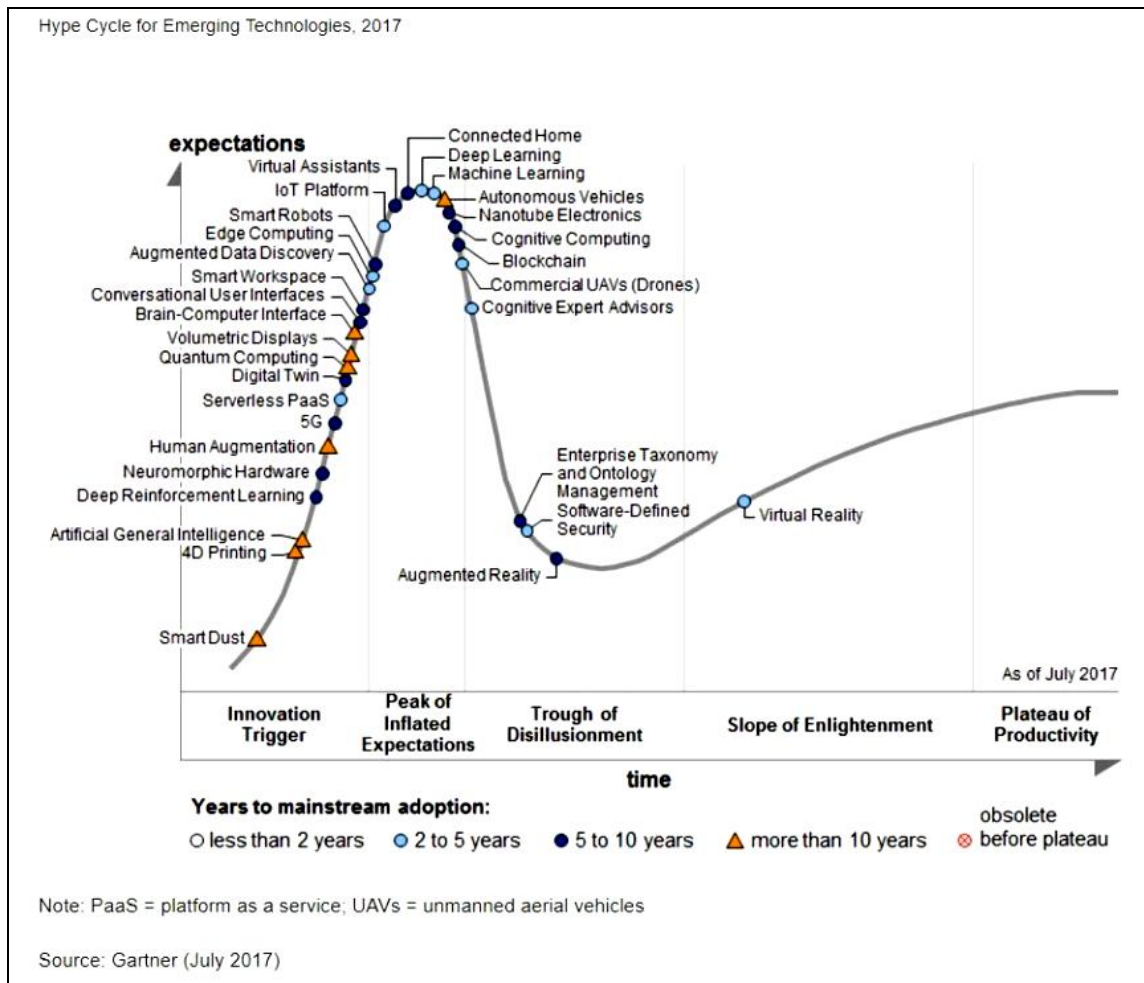


Рис. 1. Фаза подолання недоліків VR-технології

У дослідженнях інженерно-психологічних аспектів віртуальної реальності виділяють наступні властивості імерсійного середовища: надмірність (властивість, що дозволяє забезпечити множинність взаємин із середовищем); спостережність (проявляється в процесі конструювання дійсності – середовищем може бути тільки те, що спостерігається, навіть якщо воно присутнє в фізичній реальності); конструйованість (або доступність до когнітивного досвіду, що характеризує певний ступінь готовності суб'єкта до включення в середовище); насиченість (насичене середовище забезпечує широкий спектр впливів на льотний склад за допомогою багатоваріантності відносин); автономність існування (середовище має свої самостійної історією, незалежної від зовнішнього середовища); пластичність (середина з легкістю може приймати і забезпечувати стабільність форм, обумовлених різноманіттям змісту); синхронізуються (середина має локальну самоорганізацію і тимчасові якості всіх елементів середовища); позасуб'єктна просторова локалізація (розміщення незалежний від суб'єкта); векторність (спрямований навчальний ефект в певному діапазоні завдань); цілісність (єдність середовища з властивостями суб'єкта, при якому суб'єкт сприймає середина як світ

діяльності); мотивогенність (можливість впливу середовища на мотивацію льотного складу); інтерактивність (ступінь, до якої користувач в змозі брати участь в зміні і формуванні встановленої середовища в режимі реального часу); імерсійні (можливості середовища залучати користувача і орієнтувати його в системі відносин, яка визначається вмістом середовища); присутність (висловлює почуття знаходження людини в певному середовищі; відміну від імерсійні полягає в тому, що імерсійні більш пов'язана із зовнішніми і фізичними характеристиками, а присутність визначає внутрішні, суб'єктивні компоненти). Компонентами феномена присутності прийнято вважати залученість і занурення.

Загальною характеристикою навчальних тренажерів в віртуальних імерсійних середовищах є сильна залежність ефективності навчання від якості системи, включаючи сценарій і впровадження практик підвищення імерсійності, а також від того, як користувач працює з системою. Загальна структура тренажера підготовки пілотів цивільної авіації з віртуальним імерсійним середовищем зображена на рис. 2.

При створенні авіаційних тренажерів із зануренням в імерсійні середовища, для більшої ефекти-

вності навчання необхідно використовувати імітаційні або ситуаційні моделі, причому підходять як розімкнуті, так і траекторні методи управління навчанням, при можливості з вибудовуванням адаптивних підходів (рис. 3).



Рис. 2. Загальна структура тренажера підготовки пілотів цивільної авіації

Після аналізу параметрів, що впливають на рівень (ступінь) імерсивності середовищ, можна зробити наступні висновки:

1. Віртуальне середовище надає абсолютно різний вплив на різних суб'єктів підготовки, зокрема, через неоднакові параметри організму і різного життєвого досвіду пілотів.

2. Наявне обладнання для віртуальних середовищ, безсумнівно, підвищує імерсивність, однак не є досконалим через похибки технічних засобів. Обладнання – на даній технологічній фазі є недостатньо комфортним для максимального занурення.

3. Кіберболезнь є серйозним фактором, що знижує імерсивні середовища, вона важко повністю подавляема за недосконалістю існуючих технологій і індивідуальною реакцією користувачів на віртуальні середовища.

4. На сьогоднішній день є достатня кількість експериментальних даних про залучення різних областей кори головного мозку в виникнення СЕКЦА, а також виявлені деякі зміни в динаміці мозкової активності при переживанні даної ілюзії. Однак, як відзначають багато авторів, результати цих досліджень часто не узгоджуються між собою через відмінності в використовуваній стимуляції і методів оцінки вираженості ілюзії (див., Наприклад, [128]).

5. Ізоляція віртуального середовища від фізичної і симуляція власного пересування створюють складність для підвищення імерсивні середовища, так як найбільш імерсивні пересування вимагає великих вільних просторів.

6. Максимальний ефект присутності так само на даний момент не можна досягти через те, що сучасні технології зачіпають не всі органи чуття людини, не ідеально симулюють деякі інші відчуття (зокрема, дотикові, наприклад, температура, вага віртуальних предметів, їх текстура).

7. Використання для оцінки імерсивні і присутності віртуальної навчального середовища суб'єктивних результатів тестів (див., Наприклад [61]) не дозволяють з великою точністю оцінити, який рівень присутності відчуває користувач, який перебуває у віртуальному середовищі.

Таким чином, основна гіпотеза така - для кожного окремого суб'єкта імерсійні середовища повинні підтримуватися унікальні умови і виконуватися певні чинники, які виявляються за допомогою обстежень суб'єкта на його специфічні особливості організму, аналізу когнітивних функцій, при яких рівень імерсії, який вимірюється за допомогою існуючих методів оцінки ефекту присутності, буде мати максимальне значення.

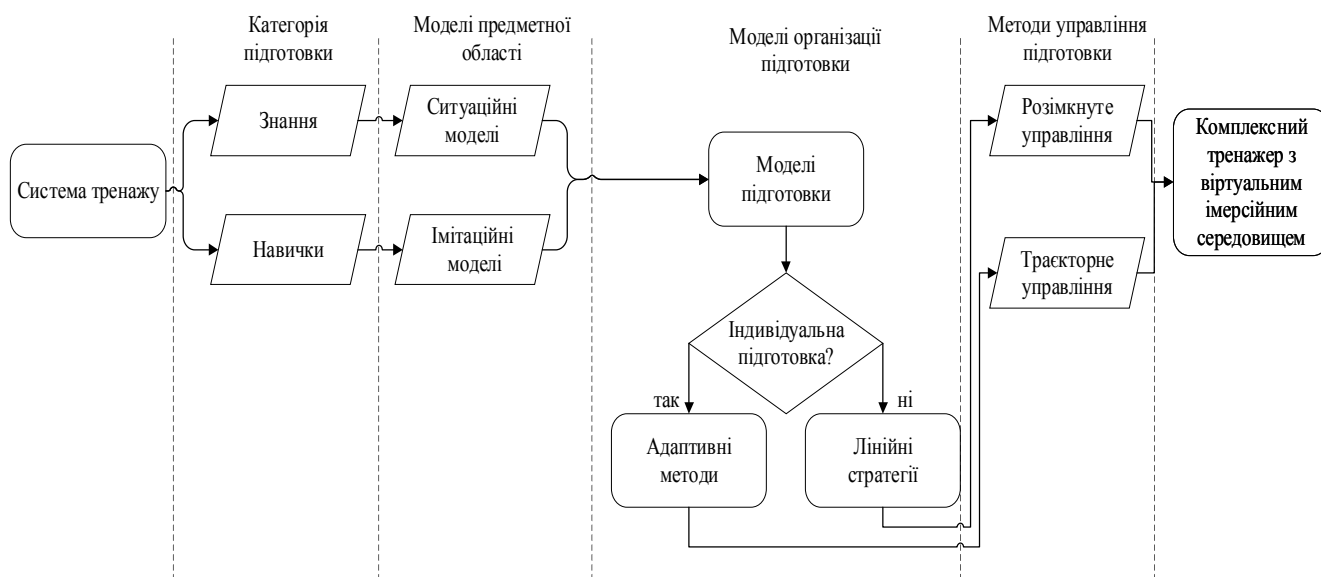


Рис. 3. Комплексна модель організації та управління підготовкою на комплексному тренажері з віртуальним імерсійним середовищем

Висновки

Серед зазначених засобів професійної підготовки льотного складу особливе місце займає тренажерна підготовка, що має найбільш тісний зв'язок з успіхами льотного навчання і формуванням високої надійності пілота в польоті. Саме тренажерні засоби навчання здатні стати тим інструментарієм, за допомогою якого можливий всебічний підхід до підготовки льотного складу, що дозволяє формувати знання, навички та вміння, а також професійно важливі якості та компетенції майбутніх пілотів.

Проведений аналіз типів віртуальної реальності, технік підвищення імерсії та методів, що застосовуються для реалізації високо реалістичних вірту-

альних середовищ, а також існуючого інструментарію засобів виведення інформації та зворотного зв'язку, можна зробити кілька висновків не розроблено методи оцінки імерсії конкретного індивідуума в конкретному віртуальному середовищі. Запропоновано застосування для підготовки пілотів цивільної авіації комплексних тренажерів з імерсійним середовищем, що дозволяє враховувати активність льотного складу в процесі професійної підготовки. Для вирішення завдань, що виникають в процесі розробки навчально-тренувальних засобів для підготовки льотного складу, потрібні зміни і доповнення в методології проектування, що враховують характер взаємодій в системі «пілот – літальний апарат – середовище».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Состояние безопасности полетов в мире. – [Электронный ресурс]. – http://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_State-of-Global-Safety_web_RU.pdf.
2. Картамышев П. В. Методика летного обучения / П. В. Картамышев, М. В. Игнатович, А. И. Оркин. – М.: Транспорт, 1987. – 278 с.
3. Макаров Р. Н. Теоретические основы профессиональной авиационной педагогики / [Макаров Р. Н., Герасименко Л. В., Нидзий Н. А., Стрелец И. В.]. – М.: МАПЧАК, 2000. – 325 с.
4. Кемалов Б. К. Разработка интегрированных средств представления знаний в системах машинного обучения авиационных специалистов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б. Кемалов – Пенза, 2012. – 19 с.
5. Казачкин Б. И. Авиационные тренажеры как связующее звено между наземной и летной подготовкой / Б. И. Казачкин. – Монино, 1999. – 160 с.
6. Косачевский С. Г. Применение теории трансформационного обучения для разработки автоматизированных обучающих систем подготовки летного состава / С. Г. Косачевский // Научный вестник МГТУ ГА. Серия: Аэромеханика и прочность. 2007. – № 111. – С. 172–175.
7. Желтухин В. В. Автоматизированные обучающие системы в сфере управления профессиональной подготовкой летного состава. Роль предтре-нажерной подготовки. // Межвузовский сборник научных трудов. СПб., Академия гражданской авиации, 1999. Т. IV. – С. 192–200.
8. Гринченко, С. Создатели виртуальности: краткий обзор производителей тренажерных систем [Текст] / С. Гринченко // Defense Express. Экспорт оружия и оборонный комплекс Украины. – 2008. – № 4. – С. 35–37.
9. Кушнир О. А. Тренажерная подготовка будущих пилотов в интегративной системе диагностики и корригирования профессионально важных качеств / О. А. Кушнир // Проблемы инженерно-педагогической освіти. – Харків : УІПА, 2008. – № 22–23. – С. 356–365.
10. Макаров Р. Н. Психологическая подготовка летного состава средствами наземной подготовки / Р. Макаров. – М.: Изд-во ВВА им. Ю. А. Гагарина, 1984. – 200 с.
11. Макаров Р. Н. Основы формирования профессиональной надежности летного состава гражданской авиации: Учебное пособие / Р. Н. Макаров. – М.: Воздушный транспорт, 1990. – 384 с.
12. Макаров Р. Н. Основы формирования профессиональной надежности летного состава гражданской авиации: Учебное пособие / Р. Н. Макаров. – М.: Воздушный транспорт, 1990. – 384 с.

Received (Надійшла) 23.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Methodology for designing simulators with immersive medium for training pilots of civil aviation

V. Verkhovsky, A. Samokish, V. Wushan, M. Pavlenko

Abstract. The article discusses the main approaches to the development of new design methods for designing simulators with an immersive environment for training civil aviation pilots. Indisputable It is indisputable that the effectiveness of training and the acquisition of practical skills by the flight crew within the training process using virtual simulators can offer any equipment and materials that are complex, inaccessible or expensive in real life, unlimited time for testing and awareness of the studied processes, without danger to life. An important factor that determines the need for virtual simulators is the way of their creation, which, in turn, gives rise to the task of forming a special environment for their rapid design, mainly by experts in a specific subject area who do not have deep programming skills. A particular role is played by the boundaries of human contact with the virtual world, which ensure inclusion and immersion in its content, and enable effective and safe interaction with it. The training methods are widely accepted in the training of pilots; in this situation, it also has serious limitations due to the need to perform a significant amount of algorithmic operations that are incomprehensible to the free staff and therefore cause an "information shock". A way out of this situation is the use of special training tools that form an artificial learning environment and simulate the main elements of the real benefits and conditions for using the studied technology. The simulator in simulated conditions allows you to implement the activities of the privileged composition, the implementation of which on real equipment is impossible according to economic criteria or is associated with a threat to life. In some cases, simulator training is the only method of ensuring the professional readiness of the pilot.

Keywords: design, training of flight personnel, aircraft simulator, immersion environment.

А. А. Торба, М. О. Торба, О. О. Торба

РАДІОЧАСТОТНІ КОМПЛЕКСИ ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Анотація: Завдання виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів ускладнюється з причини їх малих габаритів, вживанню композитних матеріалів корпусів, що не відбивають радіохвилі РЛС і мінімальному тепловому випромінюванню. Найбільшу уразливість обумовлює наявність у них джерел електромагнітного випромінювання для передачі в реальному часі команд і обміну розвідувальною інформацією, у тому числі сигналами для передачі в реальному часі телевізійних зображень. Метою роботи є розробка технічних параметрів радіотехнічних комплексів для моніторингу електромагнітних випромінювань малорозмірних безпілотних літальних апаратів в радіочастотному, інфрачервоному та оптичному діапазонах і пеленгації джерел цих випромінювань з метою їх перехоплення, придушення або знищення. У роботі проведено аналіз методів виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів в радіочастотному діапазоні. Зроблено висновок про доцільність використання пошукових методів по частоті і безпошукових методів виявлення по напрямку. Запропонована структура радіочастотного комплексу виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів. Розроблені макет одного каналу з пошуком сигналів по частоті та алгоритми первинної обробки радіосигналів, відображення результатів обробки сигналів у вигляді спектрограми та вводу цих результатів у комп'ютері.

Ключові слова: малорозмірні безпілотні літальні апарати (МБПЛА), радіомоніторинг, мікроконтролер, радіоприймальний модуль, комп'ютер, імовірність виявлення радіовипромінювань МБПЛА.

Вступ

Значення безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що зростає з кожним роком, сприяє безперервним роботам по їх удосконаленню. Нові завдання, поліпшення тактико-технічних характеристик БПЛА, у тому числі, зменшення їх розмірів, ускладнює задачу по їх виявленню. У зв'язку з чим, виявлення малорозмірних безпілотних літальних апаратів (МБПЛА) є пріоритетним завданням при створенні систем по протидії БПЛА.

Метою роботи є розробка технічних параметрів радіотехнічних комплексів для моніторингу електромагнітних випромінювань малорозмірних безпілотних літальних апаратів в радіочастотному, інфрачервоному та оптичному діапазонах і пеленгації джерел цих випромінювань з метою їх перехоплення, придушення або знищення.

1. Класифікація БПЛА

Відповідно до існуючої класифікації БПЛА за їх основними характеристиками, вони поділяються на дві групи:

- малорозмірні безпілотні літальні апарати (МБЛА);

- БПЛА середніх і великих розмірів.

Боротьба з МБЛА є комплексом заходів по їх виявленню, розпізнаванню, прицілюванню і поразці. У зв'язку з малою помітністю МБЛА завдання по виявленню і розпізнаванню цих апаратів є найбільш складним і важливим.

Класифікація МБЛА за розмірами та масою [1-3]:

- нано-БЛА масою менш одного кілограма, тривалістю польоту менш однієї години і висотою польоту до 300 м;

- мікро-БЛА – масою до 10 кг, часом польоту біля однієї години і висотою польоту до 1 000 м;

- міні-БЛА – масою до 50 кг, часом польоту до декількох годин і висотою польоту до 3000–5000 м.

2. Огляд існуючих методів виявлення МБЛА на основі аналізу електромагнітного спектру

Сучасні легкі МБЛА роблять з композитних матеріалів і пластика із спеціальним фарбуванням і з особливою комбінацією шарів. Їх невеликі бензинові і, тим більше, електричні двигуни мало випромінюють тепло і працюють майже безшумно. Тому для ефективного виконання завдання виявлення МБЛА необхідне одночасне використання декількох методів. Найбільша уразливість МБЛА обумовлюється наявністю у них джерел електромагнітного випромінювання (ЕМВ). До демаскуючих ЕМВ відносяться: сигнали бортового відповідача; команди і «доповіді» каналу управління між наземним пунктом управління і МБЛА, а також між МБЛА і супутником-ретранслятором системи навігації; сигнали бортової РЛС бічного огляду; канали обміну розвідувальною інформацією, у тому числі сигнали телевізійних зображень, що передаються в реальному часі; сигнали системи автоматичної посадки на аеродром.

Основними радіотехнічними засобами виявлення МБЛА в електромагнітному спектрі є [1-3]: використання тепловізора інфрачервоного діапазону ЕМ хвиль; використання камер оптичного діапазону ЕМ хвиль; використання радіолокаційних станцій; здійснення радіомоніторингу і пеленгування напряму на джерело ЕМ випромінювання.

Для виявлення об'єктів з температурою, що відрізняється від довкілля, використовуються інфрачервоні тепловізійні камери. Це дозволяє вести спостереження за МБЛА навіть в умовах обмеженої видимості і в темний час доби.

Для здобуття найбільш інформативних і надійних результатів можливе точне наведення і поєднання зображень телевізійних камер по тепловізійним зображенням.

Використання для виявлення безпілотних літальних апаратів методів радіолокації є складним завданням для існуючих РЛС. МБЛА мають малу

ефективну площу розсіяння (ЕПР), через що їх виявлення стає досить складним завданням. Зокрема, знижується максимальна дальність виявлення.

Радіомоніторинг – є метод отримання інформації з використанням технічних засобів на ділянці її проходження по лініях радіозв'язку.

Завданнями радіомоніторингу є:

- панорамний спектральний аналіз у реальному часі;
- пошук випромінювань від БПЛА або інших об'єктів, вимір їх параметрів та селекція сигналів від сторонніх джерел випромінювання,
- порівняння з базою даних для визначення їх приналежності;
- запис радіосигналів із службовими параметрами (частота, час, рівень сигналу, спектрограма і т. п.) і подальше їх відтворення;
- технічний аналіз радіосигналів в реальному часі і при відкладеній обробці;
- визначення напрямку на БПЛА (пеленгація).

3. Комплексне використання заходів для виявлення МБЛА

Найбільш ефективним рішенням є комбінування основних способів виявлення: застосування засобів радіолокації, використання радіомоніторингу, використання інфрачервоних і оптичних відеокамер.

Незважаючи на значні матеріальні витрати, кожен з цих методів доповнює інший, і, таким чином, зменшується кількість неправдивих виявлень і збільшується загальна ефективність системи – збільшується імовірність виявлення МБЛА на достатній відстані для його перехоплення або знешкодження.

Радар сантиметрового або міліметрового діапазону хвилі виявляє МБПЛА, паралельно з цим устаткування радіомоніторингу приймає сигнали в заданих діапазонах радіочастотних випромінювань, і шукає серед них підозрілі, далі інфрачервоні та відеокамери наводяться на вірогідний об'єкт виявлення, і приймається рішення про передачу команди на придушення, перехоплення або знищення виявлених об'єктів. Комплекс із засобами радіомоніторингу виконує завдання виявлення передавачів, встановлених на БПЛА, визначення їх типу і основних характеристик (ідентифікацію) та збору інформації для здійснення перехоплення управління.

Вибір методу радіомоніторингу – пошукового або безпошукового – є компромісом між зменшенням імовірності пропуску сигналу і дальністю виявлення мети (при допустимих економічних витратах).

У безпошукових засобів виявлення по частоті у всьому діапазоні спостереження є широкі смуги пропускання сигналу і, як наслідок, збільшений рівень шумів (завад). Це зменшує чутливість радіоприймальних пристроїв систем радіомоніторингу, обмежену шумами, і зменшує дальність виявлення радіовипромінювань БПЛА. Пошукові системи радіомоніторингу по частоті мають невелику смугу пропускання, яка може оперативним чином змінюватися залежно від завдань пошуку радіосигналів конкретних радіопередавальних пристроїв. Такі системи

мають найкращу чутливість, обмежену шумами, і максимальну дальність виявлення об'єктів.

Недоліком пошукових систем по частоті є підвищена імовірність пропуску коротких сигналів, які випромінюють БПЛА.

Окрім пошуку по частоті обов'язковим засобом виявлення БПЛА є просторова селекція прийнятих радіосигналів для визначення напрямку на об'єкт загрози (пеленгація радіопередавальних пристроїв БПЛА та радіопередавачів їх керування).

Використання безпошукових антенних систем з широкою діаграмою спрямованості робить неможливою пеленгацію джерел радіовипромінювань, а також супроводжується зменшенням коефіцієнта підсилення антени і, як наслідок, зменшенням дальності виявлення об'єктів загрози в порівнянні з вузьконаправленими антенами.

Як правило, в системах радіомоніторингу з одночасним пошуком по частоті і по напрямку (за допомогою керованих фазованих антенних ґрат – ФАГ) збільшується імовірність пропуску сигналу.

Тому прийнятним компромісом є пошук по частоті і багатоканальна система з декількома антенами і радіоприймальними модулями для паралельного виявлення сигналів з декількох напрямів по азимуту і по куту місця (рис. 1).

Ширина діаграми спрямованості антени в кожному каналі визначається необхідною точністю визначення напрямку на джерело радіовипромінювання. Кількість каналів «n» залежить від ширини повного сектора спостереження і ширини діаграми спрямованості кожної антени.

У кожному каналі є мікроконтролер, який: приймає команди від мінікомп'ютера, формує коди для вибору частоти в синтезаторі радіоприймального модуля, встановлює часові затримки на час завершення перехідних процесів в синтезаторі радіоприймального модуля, приймає і зберігає сигнали з виходу радіоприймального модуля для кожної частоти прийнятого сигналу, проводить первинну обробку прийнятих сигналів, передає в мінікомп'ютер результати радіочастотного сканування всього частотного діапазону. Завдяки тому, що комплекс складається з блоків (каналів), можливе створення (конструювання) необхідної конфігурації для специфіки виконання конкретного завдання.

Мінікомп'ютер (або ноутбук) проводить обробку результатів радіочастотного сканування для кожного каналу напрямку.

Після отримання результатів радіочастотного сканування всього частотного діапазону виявляється частота спектра з максимальними прийнятими рівнями сигналів, порівнює їх з рівнями сигналів для тих же частот у сусідніх каналах напрямку для розрахунку уточненого пеленгу на радіопередавальний пристрій МБПЛА. Враховуючи жорсткі міжнародні вимоги по електромагнітній сумісності і усуненню взаємних радіоперешкод, – радіочастотний обмін між МБПЛА і оператором здійснюється в більшості випадків в діапазонах частот для промислової, наукової і медичної апаратури – Industrial, Scientific and Medical band (ISM діапазонах).

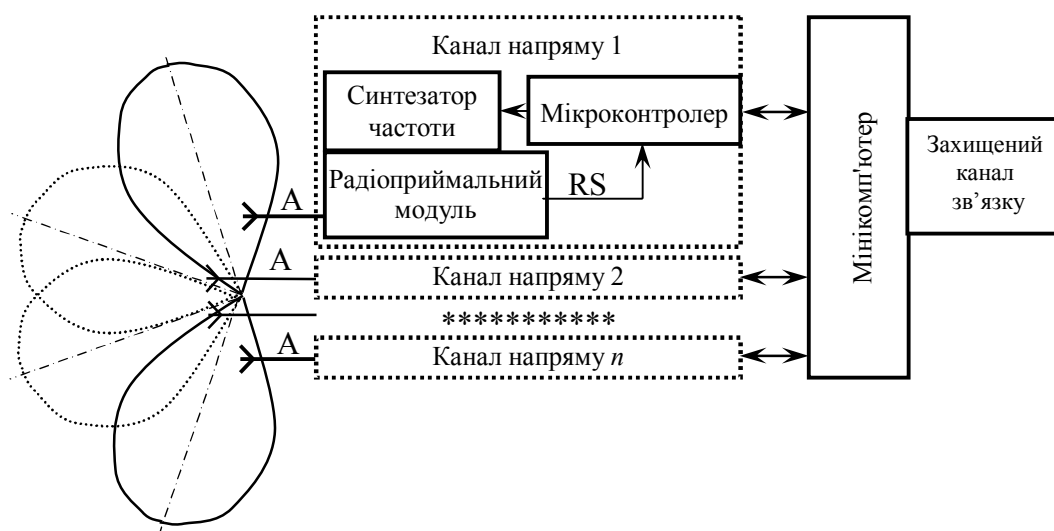


Рис. 1. Комплекс моніторингу радіовипромінювань по частоті і по напрямку

Радіопередавальні пристрої в цих діапазонах можливо використовувати без державного ліцензування, якщо дотримуватимуться норми, встановлені регулюючими органами для цієї частини радіочастотного спектру (табл. 1).

Для кожного ISM діапазону необхідно створювати окремий комплекс моніторингу радіовипромінювань по частоті і по напрямку (див. рис. 1), оскільки універсальні антенні системи і універсальні радіоприймальні модулі не забезпечують найкращі параметри для кожного діапазону.

Таблиця 1 – Частоти ISM діапазонів

Частота, МГц	Ширина діапаз., МГц	Макс. потужність, мВт
2400	85	100
5000	100	200
5800	350	500

Центральним вузлом функціонування інтегрованої системи протидії БПЛА, на яку безперервно в автоматичному режимі по захищених каналах зв'язку приходять вся оброблена інформація від окремих комплексів (див. рис 1), є комп'ютер зі встановленим на ньому спеціальним програмним забезпеченням, здатним приймати рішення в автоматичному режимі.

Варіанти таких рішень:

- передача команди про використання засобів інфрачервоних камер і камер оптичного діапазону для підтвердження виявлення цілей;
- передача команди на уточнення інформації, яка отримана, іншому комплексу, що працює у складі інтегрованої системи протидії БПЛА;
- передача команди на придушення, перехоплення або знищення цілі засобам, що входять до складу системи придушення і знищення БПЛА;

Для контролю за рішеннями, що приймаються інтегрованою системою протидії МБПЛА, і завдання необхідних параметрів – у роботі системи бере участь оператор. Наявність оператора є обов'язковою на етапі наукових досліджень та вибору алгоритмів і параметрів обробки сигналів.

4. Захист каналів зв'язку в системі протидії МБПЛА

В інтегрованій системі протидії МБПЛА безперервно циркулює великий обсяг інформації, яку треба захищати від перехоплення та зміни. Важливим завданням є аутентифікація джерел передачі інформації. Авторами запропоновані алгоритми і методи захисту інформації, які реалізуються з мінімальними апаратними затратами [4, 5]. На одній програмованій логічній інтегральній схемі (ПЛІС) можлива реалізація криптоалгоритмів, які за криптостійкістю не поступаються відомим алгоритмам, що використовуються в системах стільникового зв'язку та інших потокових алгоритмах шифрування. Запропоновані авторами криптоалгоритми захищені патентами України [6- 8].

5. Макетування каналу з пошуком сигналів по частоті

З метою розробки та дослідження схемотехнічних рішень, розробки та налаштування програмного забезпечення мікроконтролера виготовлен макет каналу радіоприймального пристрою з пошуком сигналів по частоті в ISM діапазоні 2,4 ГГц (рис. 2).

Спіральна антена забезпечує прийом радіосигналів з вертикальною і горизонтальною поляризацією. Ця вимога обумовлена тим, що МБЛА під час польоту постійно змінює положення у просторі і, як наслідок, змінюється поляризація радіосигналів, що випромінюються

Мікроконтролерна плата ARDUINO MEGA пов'язана з радіоприймальним модулем послідовним інтерфейсом SPI.

Легкість програмування плат ARDUINO від ПЕОМ через інтерфейс USB без додаткових програматорів дозволяє змінювати межі діапазонів частот радіоприймального модуля, на програмному рівні змінювати смугу частот радіоприймача, змінювати алгоритми первинної обробки сигналів, налаштовувати параметри алгоритмів, виводити результати обробки сигналів на індикатор, та завантажувати результати у ПЕОМ (ноутбук).

На рис. 2 (наверху праворуч) наведена спектрограма прийнятих радіосигналів в ISM діапазоні 2,4 ГГц, яка відображається на 3,5 дюймовому TFT екрані з роздільною здатністю 480 на 380 пікселів.

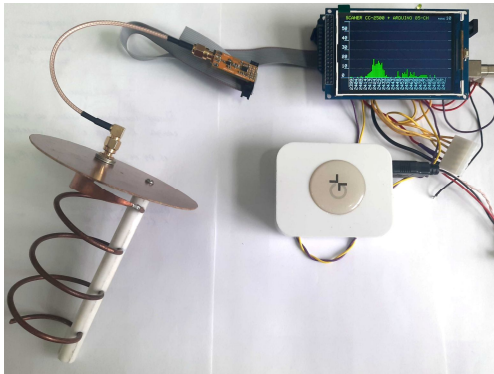


Рис. 2. Макет каналу з пошуком сигналів по частоті

ей екран входить до екосистеми платформи ARDUINO та підключається до процесорної плати через рознімання (без використання паяльників – що дуже важливо на етапі макетування мікроконтролерних систем).

Під час програмування та налагодження програм макет живиться від напруги +5 В інтерфейсу

USB. В «польових умовах» макет живиться від зовнішнього акумулятора Power Bank з вихідною напругою +5 В. Енергії акумулятора вистачає для безперервної роботи макета декілька десятків годин.

Висновки

Завдання виявлення МБЛА ускладнюється з причини їх малих габаритів, вживанню композитних матеріалів корпусів, що не відбивають радіохвилі РЛС і мінімальному тепловому випромінюванню.

Найбільшу уразливість МБЛА обумовлює наявність у них джерел електромагнітного випромінювання для передачі в реальному часі команд і обміну розвідувальною інформацією, у тому числі сигналами для передачі в реальному часі телевізійних зображень.

Запропоновано комплекс моніторингу радіовипромінювань МБЛА в межах кожного ISM діапазону з пошуком по частоті і багатоканальна система з декількома радіоприймальними модулями і вузьконаправленими антенами для пеленгації по напрямку.

Розроблені макет одного каналу з пошуком сигналів по частоті та алгоритми первинної обробки радіосигналів, відображення результатів обробки сигналів у вигляді спектрограми та вводу цих результатів у ПЕОМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ерёмин Г. В., Гаврилов А. Д., Назарчук И. И. Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО // Армейский вестник. 2015. URL: <http://armynews.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/>
2. Годунов А. И., Шишков С. В., Юрков Н. К. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Надежность и качество сложных систем.
3. Филин Е. Д., Киричек Р. В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра// Российские беспилотники. 2018. URL: <https://russiadrone.ru/publications/metody-obnaruzheniya-malorazmernykh-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-na-osnove-analiza-elektromagn/>
4. Торба А.А. Методы повышения криптостойкости алгоритмов потокового шифрования / А.А. Торба, В.А. Бобух, М.О.Торба, А.О.Торба.–// Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 184. – С. 178 – 183.
5. Торба А.А. Детерминированные генераторы псевдослучайных последовательностей для потокового шифрования на основе ДЛРР / А.А. Торба, В.А. Бобух, М.О.Торба, А.О.Торба.–// Научно-технический журнал Прикладная радиоэлектроника. – 2016. – Том 15, № 3.– С.191 – 194.
6. Патент України на корисну модель № 97734, опубл. Бюл. № 7, 2015 г.
7. Патент України на корисну модель № 99194, опубл. Бюл. № 10, 2015 г.
8. Патент України на корисну модель № 115703, опубл. Бюл. № 8, 2017 г.

Received (Надійшла) 20.08.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.10.2020

Radio frequency complexes for detection of small dimensional aircraft

A. Torba, M. Torba, O. Torba

Abstract: The task of detecting small unmanned aerial vehicles is complicated by their small size, the use of composite materials of the hulls that do not reflect the radio waves of the radar and the minimum thermal radiation. The greatest vulnerability is due to the presence of sources of electromagnetic radiation for the transmission of real-time commands and the exchange of intelligence information, including signals for the transmission of real-time television images. The aim of the work is to develop technical parameters of radio complexes for monitoring electromagnetic radiation of small unmanned aerial vehicles in the radio frequency, infrared and optical ranges and direction finding of sources of these radiation in order to intercept, suppress or destroy them. The paper analyzes the methods of detecting small unmanned aerial vehicles in the radio frequency range. The conclusion on expediency of use of search methods on frequency and searchless methods of detection on a direction is made. The structure of the radio frequency detection complex of small unmanned aerial vehicles is proposed. The layout of one channel with search of signals on frequency and algorithms of primary processing of radio signals, display of results of processing of signals in the form of the spectrogram and input of these results in the computer is developed.

Keywords: small dimensional aircraft, radio monitoring, microcontroller, radio-receiving module, computer, radio monitoring of the small dimensional aircraft radio.

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ В ТЕПЛОБМІННИКАХ ТЕМПЕРУЮЧИХ МАШИН

Анотація. Проаналізувавши рівень автоматизації обладнання сучасних кондитерських виробництв, автори прийшли до висновку, що на кондитерських фабриках здебільшого використовують окремі готові автоматизовані комплекси й потокові лінії, які побудовані на локальних засобах автоматики, що виконують технологічні операції у відповідності із заданою послідовністю та не враховують зовнішні збурення, котрі потім відбиваються на якості кінцевої продукції. **Метою** роботи є дослідження процесу зміни температури в темперуючій камері автоматизованої системи виготовлення шоколадних цукерок та забезпечення необхідної температури пралинової маси; порівняння методів регулювання температури, визначення найкращого методу регулювання. Авторами виявлено, що в наш час для управління температурними режимами здебільшого використовуються двопозиційні регулятори, пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори, а також регулятори, які працюють на основі нечіткої логіки. Проведені дослідження та отримані **результати** порівняльного аналізу підтримки заданої температури в теплообмінникові темперуючої машини з різними типами регуляторів. Дослідження дозволяють зробити **висновки**, що найгіршим з трьох досліджуваних регуляторів виявився двопозиційний регулятор, він має значні коливання регульованої температури та швидкий вихід з ладу виконавчого елемента. ПІД-регулятор, робота якого базується на методах чисельної інтеграції та диференціюванні вхідного сигналу, показав кращі характеристики, до того ж ПІД-регулятор є дуже простим в налаштуванні. Найкращим же виявився регулятор температури на основі нечіткої логіки, який показав найвищу точність підтримки температури, але в той же час він є складнішим в налаштуванні, в чому суттєво програє ПІД-регулятору. Проведені розрахунки показали, що незважаючи на певні недоліки, регулятор температури на основі нечіткої логіки забезпечить економію енергоресурсів на 2,39 і 3,68 % у порівнянні з двопозиційним та ПІД-регулятором.

Ключові слова: система керування, теплообмінник, регулятор, темперування, математична модель.

Вступ

Постановка проблеми. Однією з перспективних галузей, які визначають економічний розвиток країн світу, є кондитерське виробництво. Це пояснюється тим, що кондитерські вироби є висококалорійним, енергетично цінним продуктом, крім того, вони мають високий попит у населення. Автоматизація технологічних процесів кондитерських підприємств дає змогу підвищувати як кількість, так і якість продукції.

Оптимальне протікання технологічних процесів, котре є недоступним для ручного керування, забезпечують автоматичні системи управління разом з інформаційно-вимірювальними системами. Автоматизація виробництва дозволяє ефективно використовувати всі ресурси і вирішує проблеми покращення якості та здешевлення кондитерської продукції, також зменшуються доволі значні витрати на її виготовлення.

Крім того, це дозволяє скоротити втрати швидкозсувної сировини, значно знизити обсяги незавершеного виробництва, а також дає змогу поліпшити умови роботи працівників галузі.

Головними операціями при виготовленні різноманітних кондитерських виробів є операції глазурування, темперування та охолодження.

Застосування сучасних мікропроцесорних засобів при регулюванні температури дає можливість для вдосконалення управління цими технологічними операціями,

Ці засоби дають змогу зменшувати час регулювання, помилку регулювання в усталеному режимі, величину перерегулювання, тобто покращувати технологічний процес в цілому і забезпечувати плавне його протікання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі був переглянутий ряд джерел, що присвячені розгляду основних питань технології кондитерського виробництва та застосування у ньому засобів автоматизації. З інформації, приведеної в роботах [1-5] можна зробити висновок, що на сучасних кондитерських фабриках в основному використовують окремі готові автоматизовані комплекси й потокові лінії, які побудовані на локальних засобах автоматики. Ці лінії здебільшого працюють у відповідності з чітко заданою послідовністю усіх технологічних операцій та не враховують зовнішні збурення, котрі потім відбиваються на якості кінцевої продукції.

За функціонально-алгоритмічною ознакою такі автоматизовані лінії відносяться до систем логіко-програмного керування групою однотипних технологічних операцій.

В основі роботи ліній лежить пряме цифрове керування [6-11], яке здійснюється по жорсткій або напівжорсткій програмі в режимі поділу часу між керованими операціями.

Лінії відрізняються високою надійністю обладнання, гарною організацією усього технологічного процесу та його обслуговування. Головним недоліком є те, що такі автоматизовані лінії управляються оператором вручну у відповідності із завданнями,

котрі отримуються від головного технолога та планового відділу підприємства.

Слід зазначити, що оператор не має можливості швидко корегувати хід процесу у випадку відхилення, бо перебір і коректування керуючих впливів забирає значний час.

При аналізі літературних джерел по темі можна зробити висновок, що питання комплексної автоматизації кондитерських підприємств ще недостатньо досліджені, контроль кінцевої якості продукції також недостатній.

Мета роботи – дослідження процесу зміни температури в темперуючій камері автоматизованої системи виготовлення шоколадних цукерок та забезпечення необхідної температури пралінової маси; порівняння методів регулювання температури, визначення кращого методу регулювання.

Основна частина

Пралінові конфети виготовляють з горіхової маси (праліне), вкритою шоколадною глазур'ю. Для отримання пралінової маси беруть обсмажені горіхи (мигдаль, фундук, волоський, кеш'ю), подрібнюють їх та змішують з цукром, какао-маслом та твердими жирами.

Операція темперування є основною технологічною операцією, котра виконується перед тим, як шоколадна маса перетворюється на шоколадні вироби. При виготовленні глазурованих цукерок цю масу також використовують у якості глазурі.

Ця операція – складний багатофакторний технологічний процес, при виборі його температурних параметрів враховується навіть температура у виробничому приміщенні. Для здійснення процесу темперування використовують темперуючі машини.

Розрізняють темперуючі машини як періодичної, так і безперервної дії.

В основі конструкції темперуючої машини періодичної дії лежить спеціальна ємність, що має циліндричну форму. Вона обладнана порожниною, що оточує схильні до сильного нагріву елементи (водяною сорочкою), а також мішалкою, відкидною кришкою з електричним блокуванням стану кришки, термометром опору системою автоматичної стабілізації температури води в сорочці.

Виконуватися процес темперування пралінової маси може як в ручному, так і в програмному режимі за допомогою різноманітних датчиків, приладів та органів управління циркуляцією води в системі для здійснення термостабілізації при різних режимах темперування.

Для завантаження вихідної шоколадної маси призначена спеціальна відкидна кришка, а вивантаження вже відтеперованої маси здійснюється за допомогою розвантажувального пристрою або через спеціальний зливний пристрій із керованою засувкою.

Коли чергова порція шоколадної маси завантажена, автоматично включається мішалка. Одночасно в порожнину водяної сорочки починає подаватися вода спеціальної, заздалегідь заданої температури відповідно до режиму роботи.

Операції змішування та темперування тривають до того часу, поки шоколадно-пралінова маса не отримає необхідну для глазурування та формування температуру і в'язкість.

В машинах темперування безперервної дії, як правило, реалізуються різні технологічні схеми підтримки або зміни температури у відповідності з ходом технологічного процесу, які можуть відрізнятися вимогами до продуктивності маси, розмірів установок, характерними особливостями формування різноманітних шоколадних виробів (різними начинками, різними формами фігур тощо).

Від вірного вибору та налаштування регуляторів, що використовуються в автоматизованих системах керування, залежить якість протікання технологічного процесу.

В наш час для регулювання температури багатьох технологічних об'єктів використовують системи, котрі працюють за принципами двопозиційного регулювання, системи, що використовують пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори, а також регулятори, які працюють на основі нечіткої логіки.

При використанні двопозиційного регулювання рівень і точність підтримки заданої температури залежить від двох основних чинників: точності виміру температури (похибки терморпарі, терморезистора, пірометра і так далі) та граничної комутаційної здатності виконавчого елемента системи регулювання температури (контактора, магнітного пускача або тиристорного регулятора напруги).

Контакторна апаратура, як відомо, має нижчу граничну комутаційну здатність у порівнянні її з напівпровідниковими системами керування. Таким чином, при використанні контакторної апаратури головним параметром, що вплине на точність регулювання температури, буде гранична комутаційна здатність апаратів, а для напівпровідникових систем регулювання напруги – основним параметром стане точність виміру температури засобами вимірів.

Для плавного регулювання напруги, яка підводиться до електронагрівачів, використовуються ТРН (тиристорні регулятори напруги).

Від налаштування такого регулятора, разом з точністю вимірювання температури, залежить точність підтримки температури на рівні, що задається. Але для побудови такого регулятора необхідно розробити адекватну математичну модель.

Для побудови моделі використовують статистичний метод, що дає змогу використовувати експериментальні дані для різних режимів роботи обладнання. Виникає проблема в тому, що вимірювання деяких параметрів процесу може бути складним або неможливим. Це може суттєво вплинути на адекватність отриманої моделі.

Методи чисельної інтеграції та диференціювання вхідних сигналів застосовують класичні ПІД регулятори для формування сигналу керування.

У випадку нестационарності параметрів технологічних об'єктів у регуляторів з фіксованою структурою немає можливості якісного формування сигналу управління.

В таких умовах формування сигналу стає можливим лише при використанні адаптивних систем управління, або регуляторів, що працюють на основі теорії нечітких величин.

Адаптивні системи керування організують здебільшого з розробленням та використанням еталонної моделі об'єкту управління. Регулятори з наочною логікою для керування процесами застосовують експертні знання, які базуються на особливостях регульованого процесу, таким чином для настройки регулятора достатньо знати основні принципи та особливості регулювання основних параметрів об'єкту управління.

На рис. 1 представлена структурна схема системи регулювання температури теплообмінника теперуючої машини на основі нечіткої логіки.

На рис. 1 представлена структурна схема системи регулювання температури теплообмінника теперуючої машини на основі нечіткої логіки.

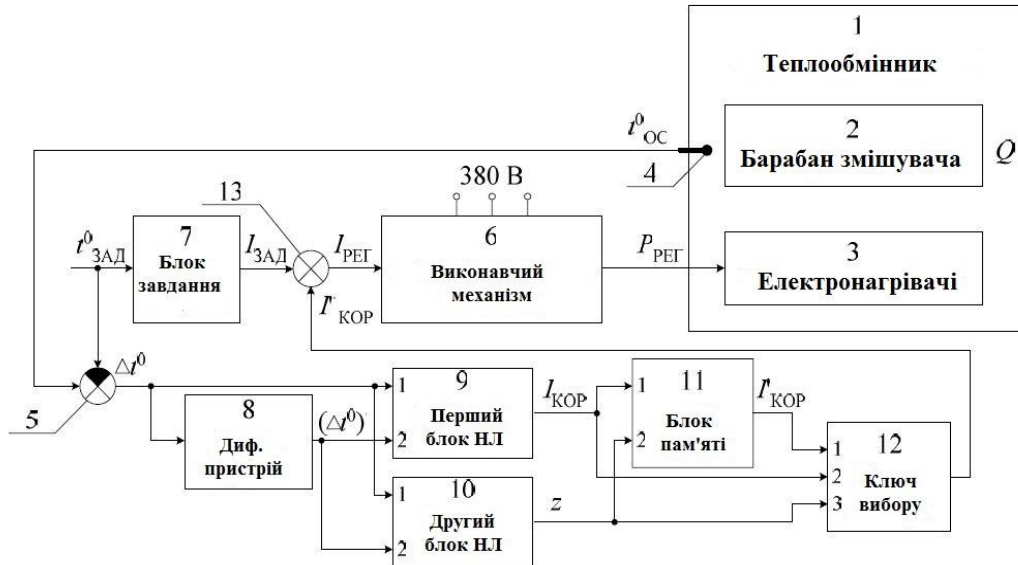


Рис. 1. Структурна схема системи нечіткого регулювання температури

Система регулювання функціонує таким чином: сигнали значення температури від часу, які сформовані зовнішнім задавальним пристроєм, надходять на вхід блоку завдання 7, відбувається розігрівання теплообмінника теперуючої машини без технологічної сировини, контур системи управління є розімкненим.

При цьому сигнал завдання $I_{Зад}$ у виконавчому механізмі 6 апроксимується виразом:

$$I_{Зад} = k_1 \cdot t_{Зад0} + k_2 \cdot t_{Зад},$$

де k_1, k_2 – масштабуючі коефіцієнти; $t_{Зад0}$ – температура довкілля; $t_{Зад}$ – температура завдання.

Задана температура також поступає на вхід блоку 5. Відповідно до приведеного вище виразу блок 7 формує сигнал завдання $I_{Зад}$, що поступає на суматор 13. Температура в теплообмінникові вимірюється термопарою 4 і сигнал зворотного зв'язку $t_{ЗЗ}$ поступає на блок 5, в якому обчислюється значення сигналу розузгодження Δt^0 поточної температури t^0 із заданим значенням $t^0_{Зад}$. Сигнал Δt^0 надходить на вхід блоку 8, а також на входи блоків 9 і 10. У диференціальному пристрої 8 відбувається обчислення швидкості (Δt^0) зміни значень розузгодження поточної температури Δt^0 . Цей сигнал (Δt^0) надходить на інші входи блоків 9 і 10.

Обчислюються значення розузгодження Δt^0 , потім у блоці 9 відбувається перетворення їх в нечіткі сигнали: "мале негативне 1" (М.Н.1), "мале негативне 2" (М.Н.2), "велике негативне 1" (В.Н.1), "велике негативне 2" (В.Н.2), "мале позитивне 1"

(М.П.1), "мале позитивне 2" (М.П.2), "велике позитивне 1" (В.П.1), "велике позитивне 2" (В.П.2), (рис. 2), з різною мірою належності μ .

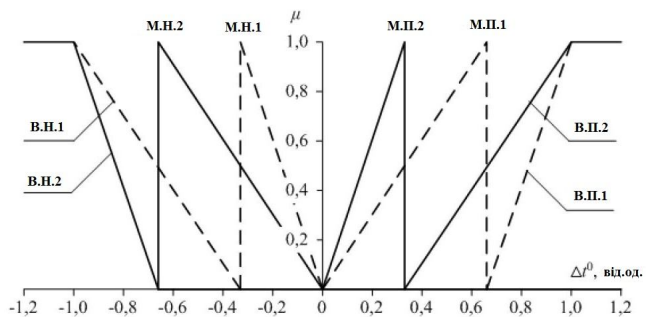


Рис. 2. Графіки функції перетворення значення розузгодження поточної температури у першому блоці нечіткої логіки

В цьому блоці також відбувається перетворення швидкості зміни розузгодження (Δt^0) в залежності від величини чисельного значення в нечіткі сигнали: "негативна" (Нег.) і "позитивна" (Поз.) з різною мірою належності μ (рис. 3).

Перший блок нечіткої логіки присвоює сигналу корекції збурення $I_{КОР}$ одне з наступних нечітких значень:

- "великий позитивний" (В.П.),
- "середній позитивний" (С.П.),
- "малий позитивний" (М.П.),
- "малий негативний" (М.Н.),
- "середній негативний" (С.Н.),
- "великий негативний" (В.Н.) (табл. 1).

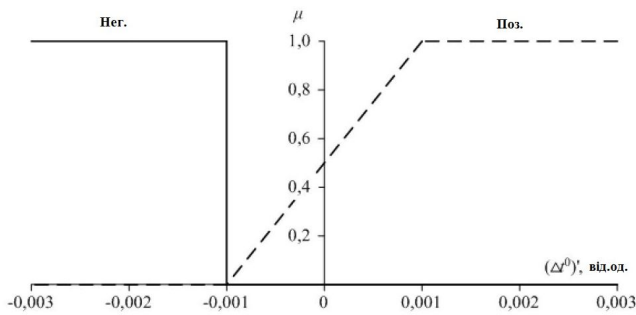


Рис. 3. Графіки функції перетворення швидкості зміни значення розузгодження у першому блоці нечіткої логіки

Далі отримане нечітке значення поточного сигналу корекції збурення $I_{КОР}$ в першому блоці нечіт-

кої логіки перетвориться в чисельне значення (рис. 4) залежно від міри належності μ . Поточний сигнал корекції збурення надходить на входи блоку пам'яті 11 та ключа вибору 12.

В блоці 10 відбувається перетворення сигналу розузгодження Δt^0 в нечіткі сигнали:

- "негативне" (Нег.),
- "негативне нульове" (Н.Н.),
- "позитивне нульове" (П.Н.),
- "позитивне" (П.), з різною мірою належності μ

(рис. 5).

Другий блок нечіткої логіки відповідає за перетворення швидкості зміни розузгодження (Δt^0) залежно від чисельного значення цієї величини в нечіткі сигнали: "негативне" (Нег.) і "позитивне" (Поз.), з різною мірою належності μ (рис. 6).

Таблиця 1 – База знань, що формується у першому блоці нечіткої логіки для отримання сигналу корекції

		Δt^0							
		В.П.1.	М.Н.1.	В.Н.1.	М.Н.1.	В.П.2.	М.П.2.	В.Н.2.	М.Н.2.
$(\Delta t^0)'$	Нег.	С.П.	М.П.	В.Н.	С.Н.	-	-	-	-
	Поз.	-	-	-	-	В.П.	С.П.	С.Н.	М.Н.

Таблиця 2 – База знань, що формується у другому блоці нечіткої логіки для отримання вихідного сигналу

		Δt^0							
		Поз.	П.Н.	Н.Н.	Нег.	Поз.	П.Н.	Н.Н.	Нег.
$(\Delta t^0)'$	Нег.	Кор.	Зап.	Кор.	Кор.	-	-	-	-
	Поз.	-	-	-	-	Кор.	Кор.	Зап.	Кор.

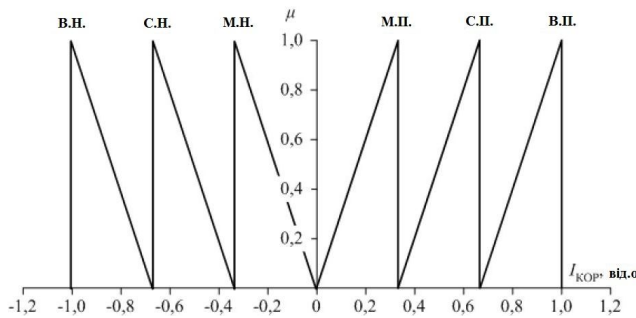


Рис.4. Графіки функції перетворення сигналу корекції у першому блоці нечіткої логіки

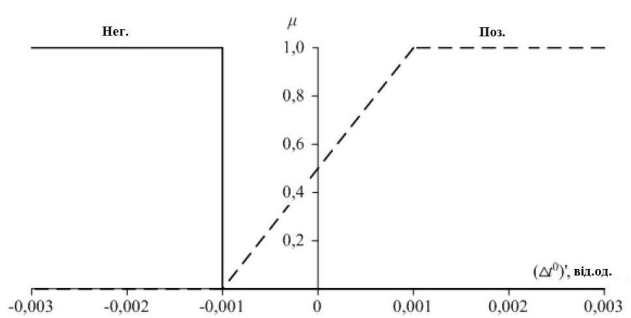


Рис. 6. Графіки функції перетворення швидкості зміни значення розузгодження в другому блоці нечіткої логіки

Другий блок нечіткої логіки використовує отримані міри приналежності нечітких значень Δt^0 і $(\Delta t^0)'$ згідно з базою знань (табл. 2).

Відбувається присвоєння вихідному сигналу з або значення "корекція" (Кор.), або "запам'ятовування" (Зап.).

Потім це нечітке значення вихідного сигналу перетворюється в чисельне значення (рис. 7) залежно від міри належності μ .

Отриманий сигнал з надходить на другий вхід блоку пам'яті 11 і на третій вхід ключа вибору 12.

Потім поточне значення сигналу $I_{КОР}$ у залежності від зміни величини сигналу з запам'ятовується у блоці пам'яті.

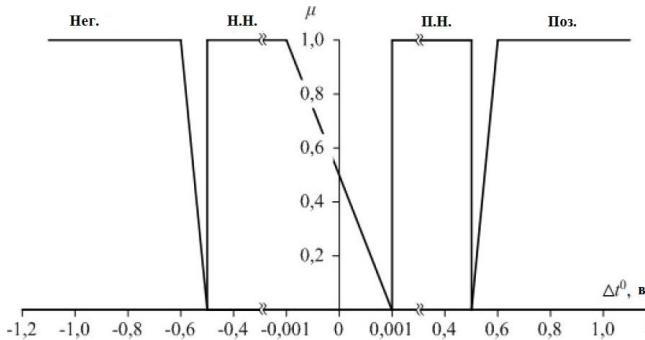


Рис. 5. Графіки функції перетворення значення розузгодження поточної температури у другому блоці нечіткої логіки

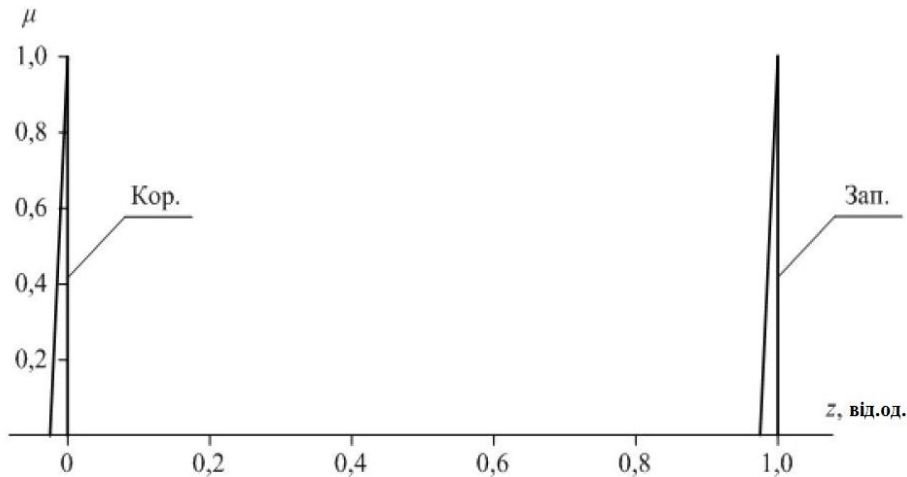


Рис. 7. Графіки функції перетворення сигналу корекції у другому блоці нечіткої логіки

На перший вхід ключа вибору 12 надходить з блоку 11 вихідний сигнал $I'_{КОР}$. Блок 12 в залежності від величини сигналу z присвоює вихідному сигналу $I'_{КОР}$ значення $I_{КОР}$ або $I'_{КОР}$.

Тоді цей вихідний сигнал $I'_{КОР}$ ключа вибору 12 надходить на суматор 13, в якому відбувається формування сигналу завдання виконавчому механізму 6 згідно з виразом:

$$I_{УПР} = I_{ЗАД} + I'_{КОР}.$$

Виконавчий механізм почне плавно змінювати кількість електричної енергії $P_{РЕГ}$, яка надходить до електронагрівачів 3.

Електрична енергія перетворюється в теплову, яка нагріває барабан змішувача 2. Таким чином відбувається підтримка заданої температури в теплообмінникові (блок 1).

Дана система регулювання температури, побудована на основі теорії нечітких величин, була апро-

бована на імітаційній моделі в середовищі MATLAB.

Також було проведено моделювання двопозиційного та ПІД-регулятора.

Для порівняльного аналізу приведені графіки підтримки заданої температури t в теплообмінникові з існуючою системою регулювання температури, що використовує двопозиційний регулятор, системи з ПІД-регулятором та з нечітким регулятором (рис. 8).

В результаті проведеного аналізу виявилось, запропонована авторами система, що працює на основі нечіткої логіки і реалізує систему автоматичного керування температури в теплообмінникові темперуючої машини, дає можливість вдосконалити протікання процесу і підвищити точність підтримки заданої температури відносно двопозиційного регулювання на 0,98% і 1,3% для пропорційно-інтегрально-диференційного регулятора.

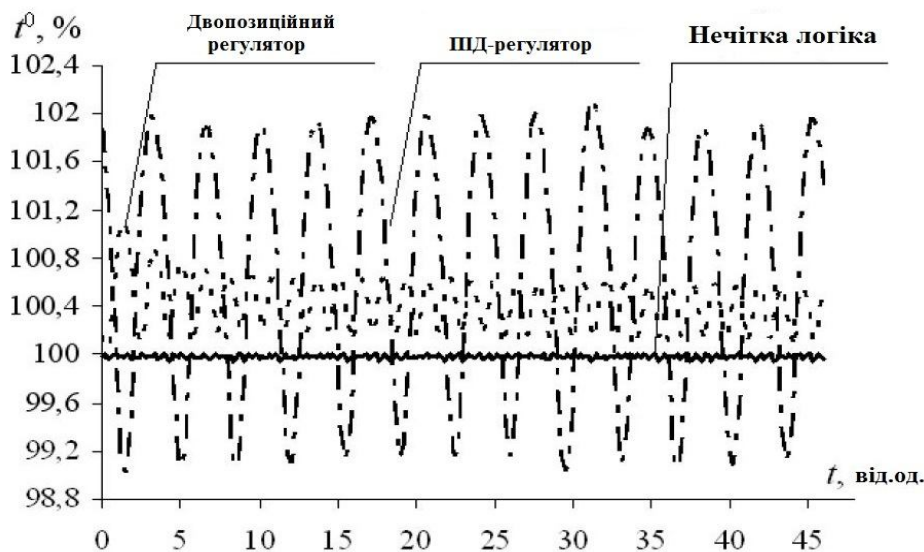


Рис. 8. Порівняння систем регулювання температури

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що двопозиційний регулятор є найгіршим з трьох представлених, тому що має погані характеристики регулювання, значні відхилення регульованої температури, а також швидкий вихід з ладу виконавчого елемента.

2. Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор, робота якого базується на методах чисельної інтеграції та диференціюванні вхідного сигналу, показав кращі характеристики, до того ж Пропор-

ційно-інтегрально-диференціальний регулятор є дуже простим в налаштуванні.

3. Найкращим являється регулятор температури на основі нечіткої логіки, який показав найвищу точність підтримки температури, але в той же час він є складнішим в налаштуванні у порівнянні з ПІД-регулятором.

4. Проведені розрахунки показали, що незважаючи на певні недоліки, регулятор температури на основі нечіткої логіки забезпечить економію енергоресурсів на 2,39 і 3,68 % у порівнянні з двопозиційним та ПІД-регулятором.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Драгилев А.И., Сезанаев Я.М. Оборудование для производства сахарных кондитерских изделий: Учебное пособие / А.И. Драгилев, Я.М.Сенаев. – М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. – 272 с.
2. Соколов В.И. Автоматизация технологических процессов пищевых производств / В.И. Соколов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1991. – 420 с.
3. Драгилев А.И., Хамидулин Ф.М. Технологическое оборудование кондитерского производства: Учебное пособие / А.И. Драгилев, Ф.М. Хамидулин. – СПб.: Троицкий мост, 2011. – 360 с.
4. Корячкина С. Я. Технология мучных кондитерских изделий: Учебник / С. Я. Корячкина, Т. В. Матвеева. – СПб.: Троицкий мост, 2011. — 400 с.: ил.
5. Благовещенская М.М., Воронина Н.О. Автоматика и автоматизация пищевых производств: Учебное пособие / М.М. Благовещенская, Н.О. Воронина и др. – М.: Агропромиздат, 1991 – 239 с.
6. Н.В.Єрмілова, Д.О. Рубан. Вибір регуляторів в системах автоматичного керування процесами в теплообмінниках темперуючих машин / Єрмілова Н.В., Рубан Д.О. // Збірник наукових праць за матеріалами V Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія інновації, практика». (Полтава, 8 листопада 2019 р.) – Полтава: ПолтНТУ, 2019, С.65-69.
7. Малахов А.П. Элементы систем автоматизации и автоматизированного электропривода: учеб.-метод. пособие А.П. Малахов, А.П. Усачов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 106 с.
8. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук// Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
9. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
10. Nechausov A., Mamusuć I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Петербург, 2003. – 736 с.

Received (Надійшла) 12.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.11.2020

Automatic regulation systems of parameters in heat exchangers of tempering machines

N. Yermilova, S. Kyslytsia

Abstract. After analyzing the level of automation of modern confectionery equipment, the authors came to the conclusion that confectioneries mostly use separate ready-made automated complexes and production lines, which are built on local automation tools that control the process in accordance with clearly defined regulations of each technological operation external disturbances that affect the quality of the products. The **purpose** of the work is to study the process of temperature change in the tempering chamber of the automated system of making chocolates and to ensure the required temperature of the praline mass; comparison of temperature control methods, determination of the best control method. The authors found that nowadays the temperature regimes of many technological objects are controlled by systems that use two-position control, proportional-integral-differential (PID) regulators, as well as regulators that operate on the basis of fuzzy logic. The **results** of comparative analysis of maintaining the set temperature in the heat exchanger of the tempering machine with the existing temperature control system using a two-position regulator, a simulated system with a PID-regulator, and using a system with a fuzzy regulator. It was **concluded** that the two-position regulator is the worst of the three presented because it has significant fluctuations in the control temperature and rapid failure of the actuator. The PID-regulator has the best characteristics, which uses the methods of numerical integration and differentiation of the input signal and, thus, improves the temperature control characteristic, in addition, the PID-regulator is very easy to set up. The best is a temperature regulator based on fuzzy logic, which showed the highest accuracy of temperature maintenance, but at the same time it is more difficult to adjust, which significantly loses to the PID-regulator. Calculations have shown that despite certain shortcomings, the temperature regulator based on fuzzy logic will save energy by 2.39 and 3.68% compared to the two-position and PID-regulator.

Keywords: control system, heat exchanger, regulator, tempering, mathematical model.

С. С. Кольвах, Р. В. Захарченко

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

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ЦЕНТРИФУГИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОГО УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОНУ

Анотація. У статті розглянуто технологію та машини для виготовлення залізобетонних труб, їх переваги та недоліки. Під центрифугуванням у промисловості будівельних матеріалів розуміють процес ущільнення неоднорідних сумішей у полі відцентрових сил. Ущільнення бетонних сумішей центрифугуванням ефективно використовується при виготовленні напірних і безнапірних труб, опор ліній електропередач, колон та інших конструкцій кільцевого перетину. До основних недоліків формування методом центрифугування необхідно віднести велику потребу в цементі для запобігання розшарування бетонної суміші при формуванні. Ущільнення слід проводити при такій швидкості обертання, яка забезпечує необхідну початкову міцність виробу, достатню для транспортування його в формах на наступні технологічні пости. На основі аналізу технології виготовлення залізобетонних труб методом центрифугування запропоновано шлях визначення оптимальної швидкості обертання пасової центрифуги за якої забезпечується якісне ущільнення бетону та відсутній розкид суміші із форми.

Ключові слова: залізобетонна труба, центрифуга, відцентрове формування, технологічна схема, електромеханічний перетворювач.

Вступ

Попередньо напружені залізобетонні труби виготовляють методом центрифугування. Технологічний процес їх виготовлення складається з низки складних операцій. Значного поширення набули агрегатний та конвеєрний способи виготовлення залізобетонних труб [1]. При агрегатному способі виробництва вироби формують на віброплощадці або на спеціально обладнаних установках-агрегатах, що складаються з формувальної машини (зазвичай віброплощадки), машини для розподілу бетонної суміші по формі (бетоноукладчика). Відформовані вироби в формах мостовим краном переміщують в камери теплової обробки бетону для твердіння. Завершальна стадія - видача виробів з камери і їх розпалубка на спеціальному посту. Агрегатний спосіб набув широкого поширення і при невеликих капітальних витратах, так як він допускає виконання широкої номенклатури виробів. Конвеєрний спосіб це вдосконалений поточно-агрегатний. У ньому технологічний процес розділений на окремі операції, які виконуються одночасно на окремих робочих постах. Форми з виробами переміщуються від одного поста до іншого спеціальними транспортними пристроями. До основних недоліків формування методом центрифугування необхідно віднести велику потребу в цементі для запобігання розшарування бетонної суміші при формуванні. Дана стаття присвячена можливості їх усунення.

Основний матеріал

При відцентровому способі форма із завантаженою в неї бетонної сумішшю обертається з певною швидкістю навколо своєї поздовжньої осі [2].

Виникаюча при цьому відцентрова сила розподіляє частки суміші по стінках форми і переміщає їх подалі від осі обертання, при цьому притискає масу до стінок форми, ущільнюючи її. В результаті у виробі утворюється внутрішня циліндрична порожнина, що дозволяє здійснювати формування труб і

трубчастих конструкцій. Зовнішній обрис поперечного перерізу елементів трубчастої конструкції може бути будь-яким: круглим, багатокутним, квадратним; розміри виробів відцентрового формування можуть бути досить великими як в поперечному перерізі - труби діаметром 2 м і більше, так і по довжині - до 15 м і вище.

Труби відцентрового формування, як і вібраційного, випускаються безнапірними і напірними. Напірні залізобетонні труби повинні забезпечувати водонепроникність трубопроводу при внутрішньому робочому тиску в мережі від 0,6 до 1,0 МПа і більше. Напірні труби випускаються з розтрубом з одного кінця, що дозволяє застосовувати ефективну конструкцію непроникних стиків при монтажі трубопроводу. Самі ж труби для забезпечення підвищеної тріщиностійкості при зазначених тисках піддаються попередньому обтисненню з доведенням напруги стиснення в бетоні до 10,0 - 15,0 МПа.

Труби і трубчасті конструкції армуються зварними циліндричними каркасами, як правило, з ненапруженими поздовжніми стрижнями.

До труб пред'являються високі вимоги щодо точності розмірів в діаметрі, гладкості внутрішньої поверхні і якості бетону.

Бетон в стінках напірних труб має зазвичай марку 500 (В45) [3], його склад призначається при ретельному підборі зернового складу заповнювачів.

Для відцентрового формування застосовуються центрифуги, в яких циліндрична форма з бетонною сумішшю обертається із заданою швидкістю. Залежно від способу закріплення форм і приведення їх в обертальний рух розрізняють три типи центрифуг для формування труб і трубчастих конструкцій [4]:

1) осьові центрифуги, в яких форма міцно затискається в торцях між двох бабок з планшайбами, центрально насадженими на обертаючі шпинделі;

2) вільно-роликові, в яких форма вільно лягає своїми бандажами на обертові катки (ролики) і притискається до них під дією своєї ваги або притискуваними верхніми роликами. Передача обертання від

приводного катка до форми з бетонною сумішшю здійснюється в результаті фрикційного зачеплення;

3) пасові центрифуги, в яких форма вільно підвішена на ременях і приводиться в обертання завдяки силам тертя між пасами і ребордами форми.

Осьова центрифуга має передню нерухому і задню рухливу бабки з затискними планшайбами для закріплення форми в торцях.

Шпинделі передньої і задньої бабок приводяться в обертання головним і розгінним електродвигунами. У серійному виробництві центрифугах для формування труб діаметром від 0,5 до 1,0 м і довжиною до 5 м потужність двигунів становить 115 кВт. Центрифуга має захисний кожух для створення безпечних умов праці. Основними недоліками осьових центрифуг є велика потужність приводного двигуна та складність завантаження бетонної суміші в форму. Завантаження доводиться здійснювати через центральний отвір в одній з планшайб, що вельми ускладнює конструкцію центрифуги.

Вільно-роликів центрифуга по конструкції простіше осьової і вимагає менш потужних двигунів. Центрифуга складається з фундаментної рами і двох або трьох паралельних горизонтальних валів з насадженими на них по кінцях катками (роликками) в залежності від того, формується одна чи дві труби одночасно; один з валів приводиться в обертання від електродвигуна. Форма своїми бандажами лягає на катки і внаслідок значних сил тертя (при великій вазі форми з бетонною сумішшю) приводиться в обертання від катків приводного валу; інші катки, будучи в зачепленні з бандажами форми, також приводяться в обертання. Це дозволяє застосовувати роликів відцентрові верстати, формуючі одночасно дві труби і більш при одному привідному і відповідній кількості ведених валів з катками.

Для забезпечення необхідного зачеплення між бандажами форми і катками центрифуги необхідно, щоб кут α , утворений віссю обертання форми і осью обертання двох суміжних ковзанок, був в межах $70 \dots 90^\circ$. Центрифуга складається з чотирьох поперечних рам-станин, приводного секційного валу на всю довжину машини, розташованого в нижній частині її провідних роликів, насаджених на валу в площині поперечних рам і ведених напрямних або притискових роликів, укріплених в підшипниках поперечних рам і розміщуються з боків зверху форми. Поперечні рами, розставлені на відстані до 4 м один від одного, є проміжними опорами для довгих форм, в яких формуються вироби.

Недоліком роликів центрифуг є значний шум і вібрація при роботі. Причиною цього є металеві катки, за якими з великою швидкістю котяться бандажі форм, і недостатня збалансованість форм. При недостатній збалансованості форми і великих швидкостях обертання форми з бетонною сумішшю можуть виникати значні відцентрові прискорення, які можуть привести до скидання форм з верстата, тому при роботі роликів центрифуг потрібні надійні захисні огороження. Слід зазначити, що для зменшення шуму, що виникає при роботі роликів центрифуги, опорні ролики можуть виконуватися

з гумовим покриттям. Крім того, крім відцентрового ущільнення суміші може бути передбачено додаткове ущільнення суміші укочуванням вібривалом, які проходять всередині форми. Такий спосіб ущільнення доцільний тоді, коли до внутрішньої поверхні труби пред'являються підвищені вимоги.

Пасова центрифуга складається з чотирьох поздовжніх валів, з яких один привідний з'єднаний приводом з електродвигуном, інші вали ведені; по довжині валів рівномірно розміщені катки з кільцевими пазми для пасів. Катки на валах разом з надітими на них пасами утворюють ряд паралельних опор (від чотирьох до шести, в залежності від довжини формованих труб), на які лягає своїми ребордами металева форма. Паси розміщені і натягнуті на катках таким чином, що утворюють V-подібне ложе для форми.

В результаті тертя форми в точках дотику її до рухомих ременями вона плавно і безшумно обертається. Кільцеві виточки в ребордах форми створюють своєрідні шляхи кочення форми.

Пасова центрифуга завдяки усуненню вібрації і небезпеки викиду форми з установки дозволяє розвивати швидкість обертання до 1500 об/хв. Потужність двигуна пасової центрифуги для труб діаметром 500 ... 700 мм складає 22 кВт, а для труб діаметром від 1000 ... 1200 мм - 55 кВт.

Основним недоліком пасових центрифуг є відносно невеликий термін служби пасів внаслідок їх витягування та викидання частини бетону із форми через недостатній діапазон регулювання швидкості обертання форми.

Перевагою таких центрифуг є відносно невелика потужність приводного двигуна та, відповідно, менше енергоспоживання у порівнянні з іншими типами центрифуг. Усунення викидання частини бетону із форми можна досягти за рахунок використання регульованого електроприводу. Фактори, що впливають на процес центрифугування, наведені на рис. 1. Вхідні фактори або впливу характеризуються тут кількісним складом (С) бетонної суміші: витратою цементу, наповнювачів, води; і якісним (К) її складом, активністю цементу, зерновим складом заповнювача, типом добавок. Частоти обертання центрифуги на стадії розподілу ($n_{розп}$) і ущільнення ($n_{ущіл}$) відносяться до технологічних параметрів роботи установки (T_n).

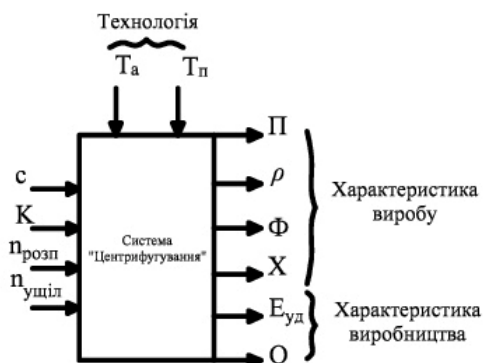


Рис. 1. Фактору впливу на процес центрифугування

Вихідні чинники: Π – пластично-в'язкі характеристики бетону, що визначаються пластичною міцністю (P_m), граничним напруженням зсуву (τ_0) і в'язкістю (μ) бетонної суміші; Φ – збереження форми і габаритів виробу, в тому числі товщини труби і якості поверхні; X – збереження проектного розташування арматури; $E_{уд}$ – питома витрата електроенергії; Q – необхідна продуктивність установки.

Ущільнення суміші слід проводити при такій швидкості обертання, яка забезпечує необхідну початкову міцність виробу, достатню для транспортування його в формах на наступні технологічні пости. Тому швидкодія системи стабілізації швидкості електропривода центрифуги має значний вплив на якість кінцевого продукту. Процес формування виробів центрифугуванням включає дві основні стадії: розподіл бетонної суміші та її ущільнення. Бетонна суміш розподіляється в формі при мінімальній частоті обертання центрифуги $n_{кр}$, при якому виключається можливість розшарування бетону на складові частини (цемент, пісок, щебінь, воду), що мають різну щільність і різну величину відцентрової сили [5]. Крім того, на цій стадії швидкість здатна утримувати частинки бетону в верхньому положенні. Для цього має бути дотримано умову, де відцентрова сила визначається:

$$F_{Ц} = m \cdot \omega^2 \cdot r = (G/g) \cdot (\pi \cdot n/30)^2 \cdot r, \quad (1)$$

де r – радіус обертання центра ваги частинки, м; g – прискорення сили тяжіння, m/c^2 ; n – число обертів центрифуги. Частота обертання на стадії розподілу:

$$n_{кр}^1 = (30/\pi) \cdot \sqrt{g/r}, \quad (2)$$

З урахуванням можливої вібрації, поштовхів і інших відхилень від рівномірного обертання реальна швидкість розподілу збільшується в порівнянні з розрахунковою в 1,5 ... 2 рази і дорівнює:

$$n_{розп} = n_{кр}^1 \cdot 1,5.$$

Частота обертання на стадії ущільнення:

$$n_{кр}^{1.1} = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot p \cdot R}{\rho \cdot (R^3 - r^3)}}, \quad (3)$$

де p – формувальний тиск в центрифугах; R – зовнішній радіус труби; r – внутрішній радіус труби; ρ – щільність бетонної суміші.

Правильність у розрахунках необхідної швидкості обертання центрифуги дозволить точно обрати електромеханічний перетворювач.

Висновки

У рамках проведених досліджень розглянуто технологічну схему виготовлення залізобетонних труб методом центрифугування та відповідне обладнання, при цьому встановлено: переваги та недоліки кожного типу обладнання; на основі співвідношення переваг та недоліків кожного типу обладнання прийнято найбільш раціональним для подальшого удосконалення пасові центрифуги; знаючи необхідну міцність зовнішньої поверхні труби, можна розрахувати необхідну швидкість обертання центрифуги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борщ И.М., Прыкин Б.В., Белогуров В.П., Коробкова Е.М. Проектирование заводов сборного железобетона, – Киев: "Будивельник", 1968.-268 с.
2. Родин И.И., Иванов В.Ф., Долгачёва Т.И. Основы проектирования заводов железобетонных изделий. –М.: "Высшая школа", 1966. -312 с.
3. Шейніч Л.О. Сучасні технології бетону / Шейніч Л.О. // Будівництво України. – К.: Основа, 2013. - № 6. – С. 22 - 24.
4. Дахин О.Х., Сиволобова Н.О. Центрифуги, учебное пособие. – Волгоград, РПК «Политехник», 2006. – 61 с.
5. Голованчиков А.Б., Новиков А.Е., Филимонов М.И., Доан М.К. Физическое и математическое моделирование процессов центрифугирования, Монография. — Волгоград: ВГТУ, 2018. – 156 с.

Received (Надійшла) 30.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 04.11.2020

Determination of the optimal rotation speed of the belt centrifuge which provides quality concrete sealing

S. Kolvah, R. Zakharchenko

Abstract. The article considers the technology and machines for the manufacture of reinforced concrete pipes, their advantages and disadvantages. Prestressed reinforced concrete pipes are made by centrifugation. The technological process of their manufacture consists of a number of complex operations. Aggregate and conveyor methods of manufacturing reinforced concrete pipes have become widespread. In the aggregate method of production, the product is formed on a vibrating platform or on specially equipped units consisting of a molding machine, a machine for distributing the concrete mixture in the form. The aggregate method has become widespread and at low capital costs, as it allows the implementation of a wide range of products. Conveyor method is an advanced flow-aggregate. In it, the technological process is divided into separate operations, which are performed simultaneously on separate workstations. Forms with products are moved from one post to another by special transport devices. The main disadvantages of centrifugal molding include the high need for cement to prevent delamination of the concrete mixture during molding. In the centrifugal method, the mold with the concrete mixture loaded into it rotates at a certain speed around its longitudinal axis. The resulting centrifugal force distributes the particles of the mixture along the walls of the mold and moves them away from the axis of rotation, while pressing the mass to the walls of the mold, compacting it. As a result, an internal cylindrical cavity is formed in the product, which allows the formation of pipes and tubular structures. Centrifuges are used for centrifugal molding, in which a cylindrical mold with a concrete mixture rotates at a given speed. Depending on the method of fixing the forms and bringing them into rotational motion, there are three types of centrifuges for forming pipes and tubular structures: axial centrifuges, free-roller and belt centrifuges. Based on the analysis of the technological scheme of production of reinforced concrete pipes by centrifugation, ways to improve the electromechanical converter are proposed.

Keywords: reinforced concrete pipe, centrifuge, centrifugal molding, technological scheme, electromechanical converter.

В. О. Пуйденко¹, В. С. Харченко²¹ Харківський радіотехнічний коледж, Харків, Україна² Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

АВТОМАТНІ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ АПАРАТНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ ЗАМІЩЕННЯ КЕШ-ПАМ'ЯТІ

Анотація. Синтез автоматних моделей політик заміщення алгоритмів pseudo – LRU, адаптивного ARC та MRU показує, що неодмінною компонентою моделі є вихідна комбінаційна логіка селекції елементів блоку даних кеш-пам'яті за напрямками q . Ця компонента побудована на підставі логічних рівнянь структурного синтезу, які описують логіку роботи дешифратора. Відомо, що типова комбінаційна логіка дешифратора перетворює двійковий код в унітарний код і це є умова його безпомилкової роботи. Таким чином, умовами помилкової роботи стануть вихідні двійкові комбінації, які відрізняються від комбінацій унітарного коду. В статті реалізовані два варіанти синтезу засобів контролю логіки роботи дешифраторів. Перший варіант ґрунтується на автоматній моделі апаратури контролю без елементів пам'яті з подальшим синтезом отримання мінімальних нормальних форм перемикальної функції, яка описує логіку функціонування комбінаційної схеми базису «і-ні». Другий варіант ґрунтується на автоматній моделі апаратури контролю з елементами пам'яті з ідеєю підрахунку логічних одиниць на виходах комбінаційної логіки селекції q - напрямків. Для цього в структуру автоматної моделі включені такі елементи пам'яті, як синхронний регістр зсуву та синхронний двійковий лічильник з додатковою логікою керування вхідом інкременту. В якості компоненти порівняння з константним значенням логічної одиниці виступає двійковий компаратор з вихідним результатом функції порівняння для визначення наявності або відсутності помилки. Також, додатково, в статті наведений розрахунок таких параметрів технічної діагностики, як достовірність контролю, достовірність функціонування, приріст достовірності функціонування та коефіцієнт ефективності контролю і діагностування.

Ключові слова: політика заміщення, адаптивний алгоритм, автоматна модель, комбінаційна логіка, елементи пам'яті, складність і надмірність засобів контролю і діагностування, достовірність контролю і діагностики, приріст достовірності функціонування, коефіцієнт ефективності контролю і діагностування.

Вступ

Неодмінною складовою ефективності алгоритмів політик заміщення достовірних елементів є певні апаратні рішення цих алгоритмів з урахуванням таких характеристик як швидкодія, складність реалізації та надійність. Разом з цим виникає необхідність забезпечення контролю достовірності функціонування синтезованих схем з такими одиничними показниками ефективності, як повнота контролю, вірогідність контролю, ймовірності помилок 1-3 роду, глибина діагностування, оперативність, безвідмовність, складність і, відповідно, комплексними, такими, як достовірність функціонування, коефіцієнт надмірності та коефіцієнт ефективності. Такий ретельний підхід до розробки електронних компонент комп'ютерних систем є запорукою надійності та безпечності комп'ютерних систем в цілому.

В публікаціях [2],[3],[4] присвячених дослідженню варіантів апаратної реалізації алгоритмів заміщення наведені функціональні схеми апаратних реалізацій алгоритмів, але разом з тим відсутні такі їх характеристики, як швидкодія, складність реалізації та надійність. З іншого боку, у публікації, пов'язаної з розробленням засобів контролю [5] приділена увага формуванню оптимального набору тестів та скороченню час тестування кеш – пам'яті, але не приділяється увага засобам контролю апаратної реалізації алгоритмів заміщення, яка є невід'ємною частиною кеш – пам'яті.

Формулювання цілей та задач. Для більш ґрунтового аналізу надійності та безпечності задача синтезу засобів апаратного контролю має бути вирішена з урахуванням двох автоматних моделей:

моделі з елементами пам'яті та моделі без елементів пам'яті. Цей метод мусить дати альтернативу розробникам засобів апаратного контролю помилок апаратних реалізацій алгоритмів політик заміщення, особливо зі значною кількістю q - напрямків при проектуванні апаратних реалізацій алгоритмів заміщення асоціативних кеш-пам'ятей та кеш-буферів сторінкового перетворення.

Мета цієї статті полягає в оцінюванні достовірності функціонування об'єкту контролю з засобом контролю з подальшим дослідженням динаміки приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики синтезованих більш складних і більш простих апаратних рішень.

Автоматна модель апаратного контролю з елементами пам'яті

В автоматній моделі апаратного контролю з елементами пам'яті (рис. 1) закладена ідея з алгоритмом підрахунку одиниць на виходах дешифратора q -напрямків (рис. 2). Дискретна математична модель дешифратора представлена формулою (1). В моделі також присутні елементи пам'яті: регістр зсуву і двійковий лічильник, які описуються відповідними дискретними математичними моделями (2),(4).

$$Y_i = \lambda_i(\bar{X}) = \prod_{p=0}^{k-1} x_p^{e_p}, \quad (1)$$

де $\bar{X} = (x_{k-1}, \dots, x_0)$, $x_p = 1, e_p \in \{0, 1\}$,
 $i \in \{0, \dots, (2^k - 1)\}$.

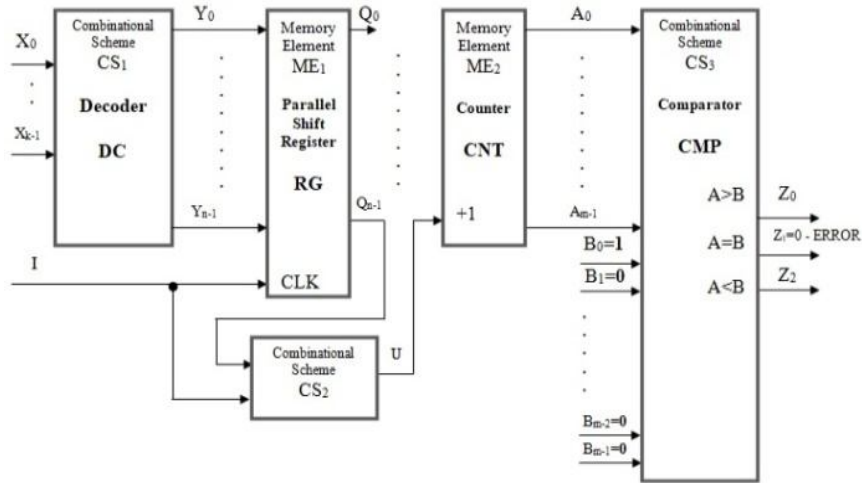


Рис. 1. Автоматна модель апаратного контролю помилок з елементами пам'яті
 $Q_0 = Y_0, Q_i = Q_{i-1}$, (2)

де $i \in \{1..(n-1)\}$.

Автоматна модель містить комбінаційну схему CS₂ формування імпульсу високого рівня інкременту, яка описується перемикальною функцією (3):

$$U = \varphi(I, Q_{i-1}) = I \& Q_{i-1},$$

де $U \in \{0,1\}$.

$$\bar{A}^+ = \psi(\bar{D}, U, \bar{A}) = \bar{D} \& UV \bar{A} \& \bar{U}, \quad (4)$$

де $\bar{A}^+, \bar{A}, \bar{D} \in \{0..(2^m - 1)\}$;

$$U \in \{0,1\}, \forall U = 1, \exists \bar{A}^+ = \bar{D}.$$

Дискретна математична модель компаратора, який представлений комбінаційною схемою CS₃, описується формулами (5),(6,(7)):

$$Z_0 = \mu(\bar{A} > \bar{B}) = \begin{cases} 0, & \bar{A} \leq \bar{B} \\ 1, & \bar{A} > \bar{B} \end{cases}; \quad (5)$$

$$Z_1 = \mu(\bar{A} = \bar{B}) = \begin{cases} 0, & \bar{A} \neq \bar{B} \\ 1, & \bar{A} = \bar{B} \end{cases}; \quad (6)$$

$$Z_2 = \mu(\bar{A} < \bar{B}) = \begin{cases} 0, & \bar{A} \geq \bar{B} \\ 1, & \bar{A} < \bar{B} \end{cases}; \quad (7)$$

де $\bar{B} = (1, 0, 0, \dots, 0)$;

$$ERROR = \mu(\bar{A} = \bar{B}) = Z_1 = 0.$$

Автоматна модель апаратного контролю без елементів пам'яті

В автоматній моделі апаратного контролю без елементів пам'яті (рис. 3) використовується метод класичного синтезу (табл. 1) мінімізації перемикальної функції (8), яка описує логіку роботи комбінаційної схеми CS₂ виявлення помилок на виходах комбінаційної схеми CS₁ автоматної моделі.

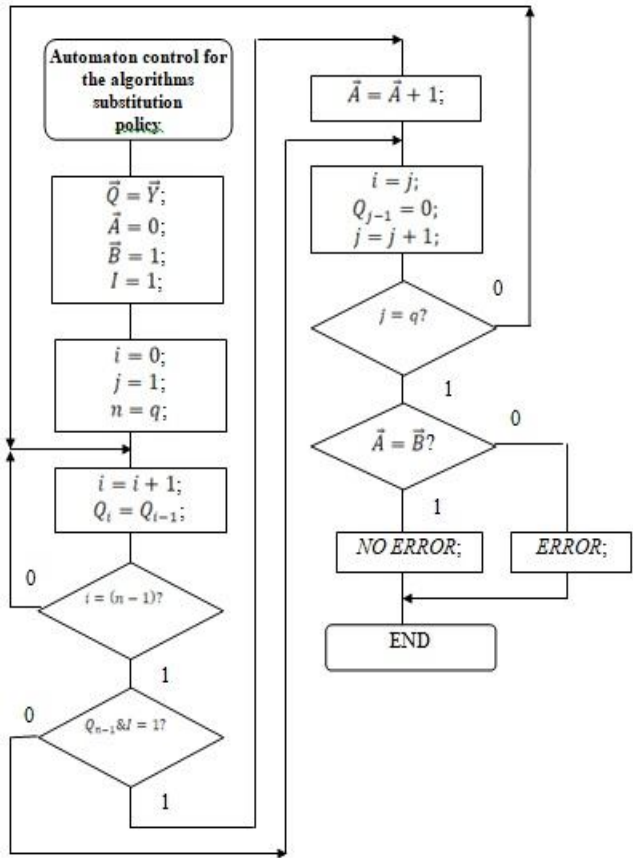


Рис. 2. Алгоритм роботи автоматної моделі апаратного контролю з елементами пам'яті

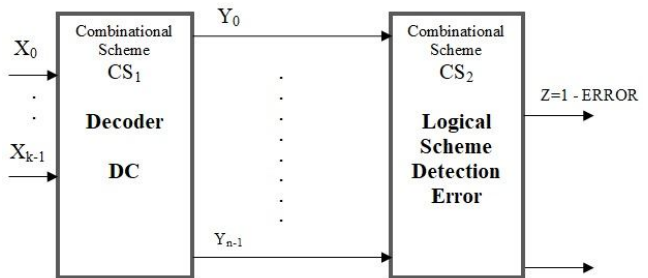


Рис. 3. Автоматна модель апаратного контролю без елементів пам'яті

$$Z = \mu(\bar{X}), \quad (8)$$

Синтез апаратури контролю без елементів пам'яті (q=4)

Вміст табл. 1 відтворює всі помилкові та непомилкові комбінації, які можуть з'явитися на виходах комбінаційної схеми CS₁ автоматної моделі (рис. 3).

Перенесемо вміст таблиці 1 у відповідну карту Карно (рис. 4.)

Знайдені контури на карті Карно дадуть наступну мінімальну нормальну форму запису перемикальної функції E у базисі «і-ні» (9):

$$E = \overline{Y_3} \overline{Y_2} \overline{Y_1} \overline{Y_0} \& \overline{Y_1} \overline{Y_2} \overline{Y_3} \overline{Y_0} \& \overline{Y_2} \overline{Y_1} \overline{Y_3} \& \overline{Y_2} \overline{Y_1} \quad (9)$$

Отримана мінімальна нормальна форма запису перемикальної функції E у базисі «і-ні» описує логіку роботи апаратного рішення контролю помилок (рис. 5):

Таблиця 1 – Помилкові та непомилкові комбінації на виходах комбінаційної схеми CS₁

Y ₃	Y ₂	Y ₁	Y ₀	E
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

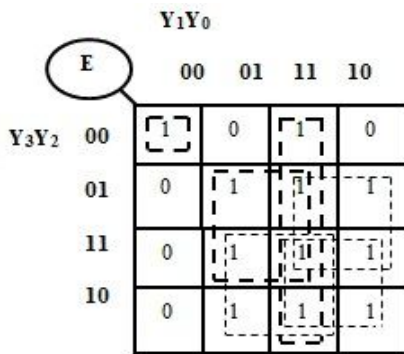


Рис. 4. Карта Карно з відповідними знайденими контурами

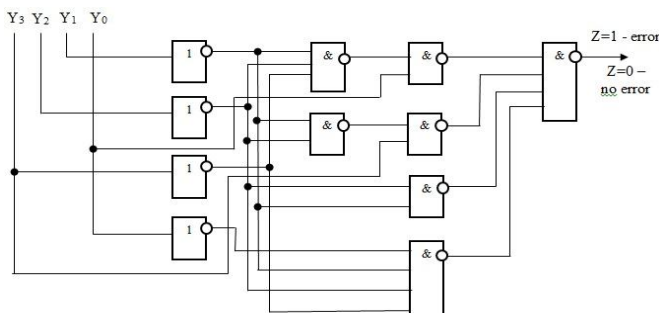


Рис. 5. Апаратне рішення контролю (q=4)

Апаратне рішення на рис. 5 дає можливість створити відповідну комп'ютерну модель

Синтез апаратури контролю без елементів пам'яті (q=8)

Вміст карти Карно (рис. 6.) відтворює всі помилкові та непомилкові комбінації на виходах комбінаційної схеми CS₁ автоматної моделі (рис. 3).

E	Y ₃ Y ₂ Y ₁ Y ₀															
	0000	0001	0011	0010	0110	0111	0101	0100	1100	1101	1111	1110	1010	1011	1001	1000
0000	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0001	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0011	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0010	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0110	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0111	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1100	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1110	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1010	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1011	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1000	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 6. Карта Карно

Знайдені контури на карті Карно дадуть наступну мінімальну нормальну форму запису перемикальної функції E у базисі «і-ні» доповнену логічною операцією нерівнозначності (10), яка описує логіку роботи апаратного рішення (рис. 7.):

$$E = \overline{Y_7} \overline{Y_6} \overline{Y_5} \overline{Y_4} \& \overline{Y_3} \overline{Y_2} \& (Y_1 \oplus Y_0) \& \overline{Y_1} \overline{Y_0} \& (Y_3 \oplus Y_2) \& \overline{Y_3} \overline{Y_2} \overline{Y_1} \overline{Y_0} \& \overline{Y_7} \overline{Y_6} \& (Y_5 \oplus Y_4) \& \overline{Y_5} \overline{Y_4} \& (Y_7 \oplus Y_6) \quad (10)$$

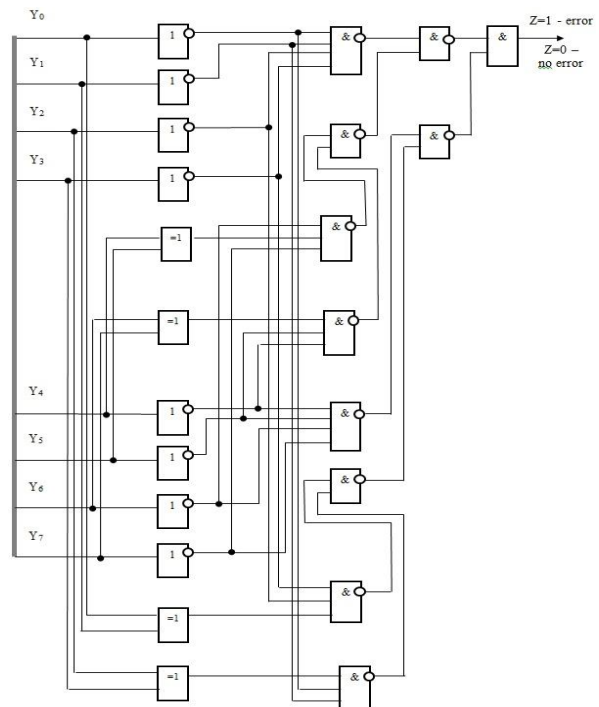


Рис. 7. Апаратне рішення контролю (q=8)

Апаратне рішення на рис. 7 дає можливість створити відповідну комп'ютерну модель результатами її коректної роботи фіксації помилок.

Синтез апаратури контролю з елементами пам'яті (q=4, q=8, q=63)

На підставі автоматної моделі апаратного контролю з елементами пам'яті (рис. 1) збудуємо функціональну схему апаратури контролю має бути вирішена на виході комбінаційної схеми CS₁ (рис. 8).

Функціональна схема апаратного рішення контролю (рис. 8) дає можливість створити відповідну комп'ютерну модель з результатами її коректної роботи фіксації помилок (q=4, q=8, q=63).

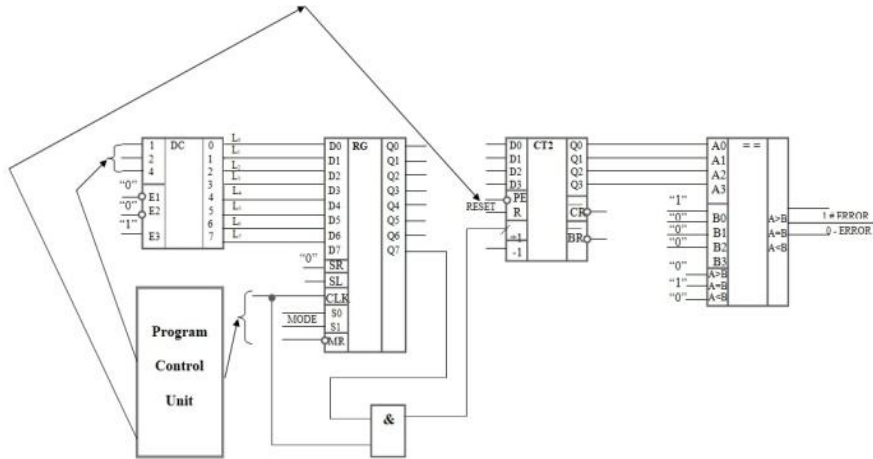


Рис. 8. Функціональна схема апаратного рішення контролю помилок (q=8)

Складність і надмірність засобів контролю і діагностування оцінюється коефіцієнтом надмірності:

$$K_H = (C_{окд} + C_{зкд}) / C_{окд} , \quad (12)$$

де $C_{окд}$, $C_{зкд}$ – складності об'єкту контролю і засобу контролю відповідно, а достовірність контролю діагностування визначається за трьома чинниками:

$$D_k(t) = L \cdot P_{обн} \cdot P_{зк}(t) , \quad (13)$$

де $P_{обн}$ - ймовірність виявлення відмови, t – час (години); $P_{зк}(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи засобів контролю.

Приріст достовірності функціонування є таким:

$$\Delta D_\phi = P(t) P_{зк}(t) + (1 - P(t)) D_k(t) - P(t) , \quad (14)$$

де $P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи об'єкту контролю, а коефіцієнт ефективності контролю і діагностування визначається як

$$K_E = \Delta D_\phi / K_H , \quad (15)$$

Дослідження достовірності контролю і функціонування

На рис. 9-13 представлені діаграми динаміки приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратур алгоритмів політик заміщення. Вище зазначені па-

Показники достовірності контролю та функціонування

Повнота контролю L є одним з основних показників, який визначає степінь охоплення комп'ютерної системи засобами контролю і діагностування:

$$L = Q_k / Q , \quad (11)$$

де Q_k – ймовірність відмови тієї частини комп'ютерної системи, стан якої може бути розпізнано на підставі оцінюваних параметрів і характеристик; Q – ймовірність відмови тієї частини комп'ютерної системи, стан якої може бути розпізнано на підставі оцінюваних параметрів і характеристик.

параметри розраховані на підставі виразів (11-15). Складність і надмірність засобів контролю і діагностування оцінюється коефіцієнтом надмірності, який визначається відношенням (11) на підставі показників складності за загальною кількістю полюсів об'єкту контролю та засобу контролю. Приріст достовірності функціонування та коефіцієнт ефективності контролю і діагностування обчислюються за загальною кількістю вентилів об'єкту контролю та засобу контролю, а також з урахуванням ймовірності у 10^{-7} відмови одного вентиля та 100,1000,10000,100000 годин напрацювання на відмову відповідно.

Висновки

Для більш ґрунтовного аналізу надійності та безпечності поставлена задача синтезу була вирішена з урахуванням двох автоматних моделей: моделі з елементами пам'яті та моделі без елементів пам'яті з подальшою розробкою схем засобів контролю.

Досліджено залежність приросту достовірності функціонування від часу напрацювання на відмову та залежність коефіцієнту ефективності контролю від приросту достовірності функціонування.

На підставі досліджень можна зробити висновки, що:

- при зростанні кількості годин напрацювання на відмову збільшується приріст достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностування відповідно;

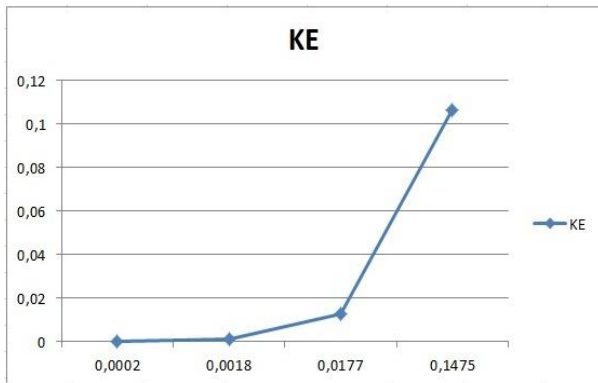
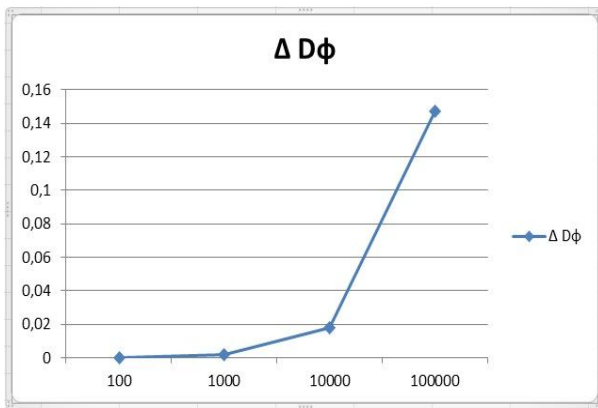


Рис. 9. Динаміка приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратури PLRU зі схемою контролю без елементів пам'яті ($q=4$)

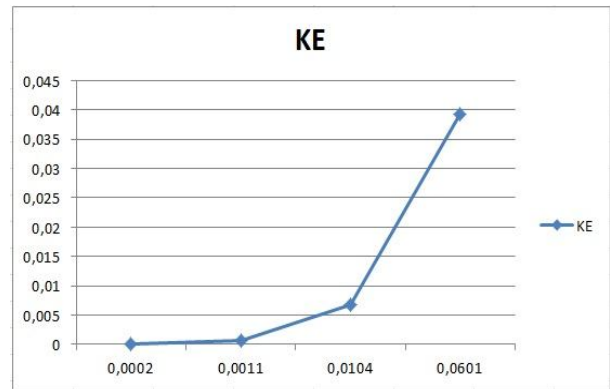
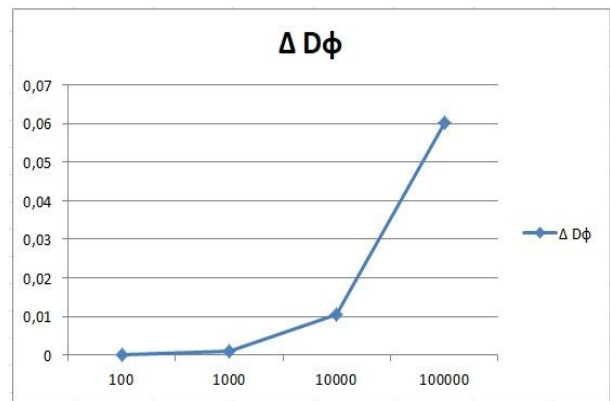


Рис. 11. Динаміка приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратури PLRU зі схемою контролю з елементами пам'яті ($q=8$)

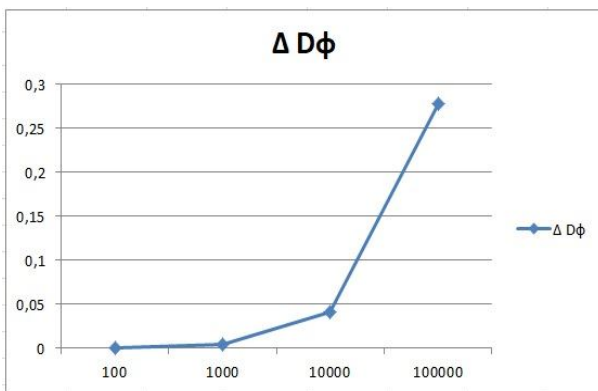


Рис. 10. Динаміка приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратури PLRU зі схемою контролю без елементів пам'яті ($q=8$)

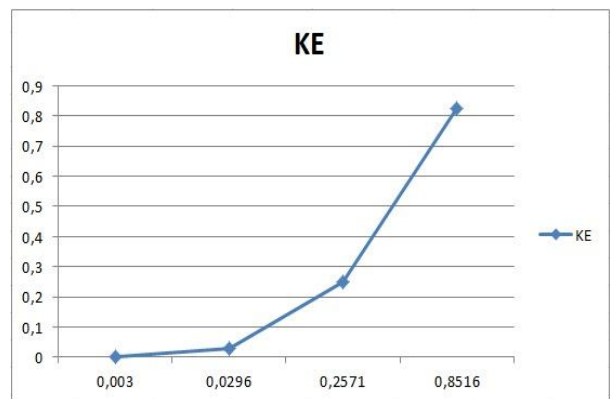
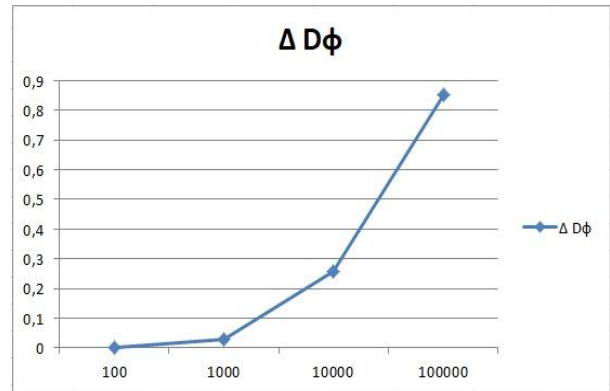


Рис. 12. Динаміка приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратів ARC та MRU зі схемою контролю без елементів пам'яті ($q=4$)

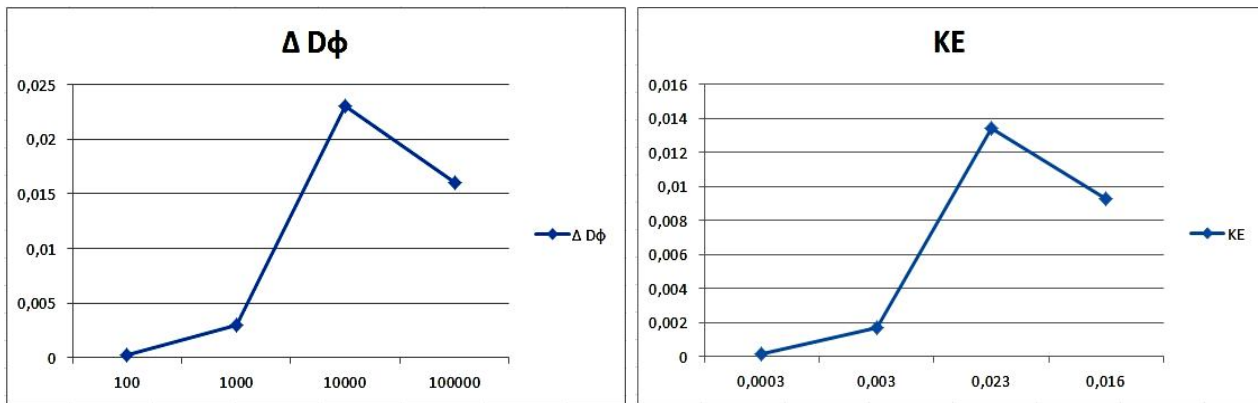


Рис. 13. Динаміка приросту достовірності функціонування та коефіцієнту ефективності контролю і діагностики апаратур ARC та MRU зі схемою контролю з елементами пам'яті ($q=63$)

- з плином часу безвідмовність об'єкту контролю та засобу контролю спадає, але безвідмовність засобу контролю спадає повільніше, ніж безвідмов-

ність об'єкту контролю з подальшим вирівнюванням спадання; вибір схем контролю залежить від часу експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vadim Puidenko, Vyacheslav Kharchenko "The Pseudo LRU Hardware Complexity Decreasing for Associative Cache Memory and Translation Look-a-Side Buffer", CERes Journal, Volume 6, Issue 1, 2020
2. Safaa S. Omran, Ibrahim A. Amory, "Implementation of LRU Replacement Policy for Reconfigurable Cache Memory Using FPGA", 2018 International Conference on Advanced Science and Engineering, Kurdistan Region, Iraq, November, 12-14, pp.13-18.
3. T.S.B. Sudarshan, Rahil Abbas Mir, S.Vijayalakshmi, "Highly Efficient LRU Implementations for High Associativity Cache Memory". Birla Institute of Technology and Science, Pilani, Rajasthan 330331 INDIA, 2017.
4. Jaafar Alghazo, Adil Akaaboune, Nazeih Botros, "Cache Replacement Algorithm Records". 2004 International Workshop on Memory Technology, Design and Testing, Illinois, USA, August, pp.19-24.
5. Zaid Al-Ars, Member, IEEE, Said Hamdioui, Member, IEEE, Georgi Gaydadjiev, Member, IEEE, and Stamatis Vassiliadis, Fellow, IEEE Test Set Development for Cache Memory in Modern Microprocessors IEEE TRANSACTIONS ON VERY LARGE SCALE INTEGRATION (VLSI) SYSTEMS, VOL. 16, NO. 6, JUNE 2008
6. Д.В. Гутенко "Об одном подходе к синтезу схем контроля дешифраторов". Сумский государственный университет, г. Сумы Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки", №3' 2011
7. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника. – Санкт Петербург: БХВ-Петербург, 2010. -С. 816.
8. Согомоян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы /Е. С. Согомоян, Е. В. Слабаков. – Москва: Радио и связь, 1989. – 208 с

Received (Надійшла) 19.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.11.2020

The automaton models and synthesis of monitoring means for hardware implementation of cache memory substitution algorithms

V. Puidenko, V. Kharchenko

Abstract. The synthesis of automatic models of pseudo algorithm substitution policies - LRU, adaptive ARC and MRU shows that the output combinational selection logic of selecting elements of the cache data unit in q directions is an indispensable component of the model. This component is taken from the logical equations of structure synthesis, which describe the logical operation of the decoder. It is known that a typical combinational logic of the decoder turns a binary code into a unitary code and this is a condition of its error-free operation. Thus, the conditions of erroneous operation will be output binary combinations that differ from the combinations of a unitary code. Two options of the synthesis for monitoring means of the decoder operation logic is implemented in the paper. The first option is based on the automaton model of hardware monitoring with memory elements with next synthesis for obtaining the minimum normal recording form of the switching function, which describing the logic of the operation for the combinational scheme of the "and-not" basis. The second option is based on the idea of counting of logical units at the outputs of the combination logic selection in q - directions. Such memory elements as a synchronous shift registers and a synchronous binary counter with additional logic for controlling the input of a counter increment were included in the structure of the automatic model for this. The comparison component with constant value of logical unit is a binary comparator with the output result of a comparison function for definition of the existence or the absence of error. In addition, the article gives the calculation of such parameters of the technical diagnostics as the reliability of control, the reliability of functioning, the increase in the reliability of functioning and efficiency of control and diagnostic efficiency factor.

Keywords: substitution policy, adaptive algorithm, automatic model, combination logic, memory elements, complexity and excessive means of monitoring and diagnostics, reliability of monitoring and diagnostics, increased reliability of functioning, efficient.

Н. В. Ічанська, В. О. Дем'яненко

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

ОСВІТНІ ІНТЕРНЕТ РЕСУРСИ ТА ОНЛАЙН СЕРЕДОВИЩА В НАВЧАЛЬНО-ВИХОВНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ВИКЛАДАЧА ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація. Предметом дослідження є інформатизація та комп'ютеризація освіти. У статті наведено та проаналізовано найпопулярніші освітні ресурси, які стали невід'ємною частиною навчально-виховної діяльності викладачів. Це дистанційні навчальні платформи, віртуальні бібліотеки й музеї, мережеві карти знань, соціальні пошукові системи та геосервіси. Кожен з елементів освітніх інтернет ресурсів, що використовуються для покращення технологій навчання є ефективним і робить свій внесок в інформатизацію освіти. На сучасному етапі розвитку суспільства і освіти головною метою є підготовка здобувача освіти до активної і плідної життєдіяльності в інформаційному суспільстві, забезпечення підвищення якості, доступності та ефективності навчання. Для ефективного здійснення цього процесу необхідно застосувати цілеспрямований вплив системи управління на всі сфери освіти та більш широке використання сучасних інформаційних технологій. **Результати** - сформовано список переваг та недоліків існуючих навчальних інтернет ресурсів, які ефективно впливають на освітній процес. Розроблено веб-додаток для тестування знань, що відноситься до елементів дистанційного навчання. **Висновки** - у роботі розглянуто вплив інформаційних технологій на навчально-виховний процес та освіти в цілому та запропоновано якісний перелік інтернет ресурсів й онлайн середовищ, що є ефективними для інформатизації та комп'ютеризації освіти, включаючи особисто створений ресурс.

Ключові слова: інформатизація, освітні інтернет ресурси, інформаційне суспільство, комп'ютеризація, дистанційне навчання, віртуальні бібліотеки, віртуальні музеї, мережеві карти знань, соціальні пошукові системи, соціальні геосервіси.

Вступ

Одним із важливих складових духовного життя є система освіти, метою якої є поширення знань. Вона охоплює діяльність сформованих суспільних інститутів, які здійснюють підготовку молоді в дошкільних дитячих установах, в середніх, професійно-технічних і вищих навчальних закладах [1-10]. Серед соціальних інститутів суспільства освіта займає одну з провідних позицій. Адже благо людини, становище культури та духовності в суспільстві, темпи економічного, науково-технічного, політичного і соціального прогресу залежать від якості і рівня освіти.

Метою статті є розгляд освітніх інтернет ресурсів та їх вплив на оптимізацію навчально-виховної діяльності.

Основна частина

Сучасному суспільству потрібна компетентна особистість, яка здатна брати активну участь у розвитку економіки, науки та культури. Тому сьогодні в освіті поставлено завдання створення сприятливих умов для розвитку здібностей учнів, задоволення їх інтересів та потреб, розвитку навчально-пізнавальної активності та творчої самостійності.

Світовий процес переходу до інформаційного суспільства, а також економічні, політичні і соціальні зміни зумовлюють необхідність модернізації системи освіти. Освіта має орієнтуватися на перспективи розвитку суспільства. А це означає, що в сучасній освіті необхідно застосовувати найновітніші інформаційні технології. Створення інформаційного середовища є ключовим завданням на шляху переходу до інформаційного суспільства. Впро-

вадження інформаційно-комунікативних технологій в освітню сферу висуває проблему комп'ютеризації закладів освіти.

Стан освіти в державі є показником якості життя суспільства, тому у багатьох економічно розвинутих країнах саме держава лишається головним суб'єктом, який утримує систему освіти і визначає стратегічні напрями її модернізації. Щоб визначити місце освіти в тій чи іншій економічній системі, необхідно насамперед виявити глобальні тенденції соціально-економічного розвитку суспільства. На розвиток системи освіти в сучасних умовах впливають чотири фактори:

- швидкозмінність і швидкоплинність процесів суспільного розвитку;
- соціально-економічні трансформації в суспільстві;
- процеси глобалізації;
- інформаційний "вибух" у суспільстві, зумовлений появою нових інформаційних технологій і мультимедіа.

Кожне суспільство відтворює себе через систему освіти, транслюючи наступному поколінню ті знання, вміння і навички, які дозволяють молоді включатися у структури суспільства, адаптуватися до їх змін, реалізовувати себе як в особистісному, так і в професійному напрямках.

В наш час широко поширений термін інформаційного суспільства. Головною рисою такого суспільства є перетворення інформації в один із головних виробничих ресурсів. Тому професійна підготовка майбутніх педагогів, їх інформаційна культура та професійна готовність до використання інформаційних технологій вимагають особливої уваги та

виступають гарантією впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у всі сфери діяльності суспільства.

Важливою складовою становлення інформаційного суспільства є інформатизація освіти. Інформатизація освіти – це сукупність взаємопов'язаних організаційно-правових, соціально-економічних, навчально-методичних, науково-технічних, виробничих та управлінських процесів, спрямованих на задоволення інформаційних, обчислювальних і телекомунікаційних потреб учасників навчально-виховного процесу, а також тих, хто керує цим процесом.

Інформатизація та комп'ютеризація вимагають від людини нових знань, умінь та навичок, що будуть адаптовані до умов інформаційного суспільства. Особлива роль нині відводиться мережі Інтернет – засобу розповсюдження інформації, середовища співпраці та спілкування людей, що є найбільшою та популярною комп'ютерною мережею, котра відкриває широкі можливості ефективного її використання в освіті. Надання різноманітних освітніх послуг, навчальної інформації, відкриття широких можливостей використання різноманітних ресурсів мережі Інтернет, у тому числі навчальні дистанційні курси, дистанційні олімпіади і конкурси, бібліотеки, текстові сховища, інтерактивні енциклопедії та словники, перекладачі, віртуальні музеї та виставки і т. ін. у підготовці майбутнього фахівця.

Мережа Інтернет є джерелом різноманітної інформації. Виходячи з навчальної мети, це можуть бути, наприклад, освітні ресурси, яких нині є багато і в подальшому кількість їх збільшиться. Майже всі навчальні заклади, дослідницькі установи мають свої сайти, що постійно поповнюються інформацією. Корисними є Інтернет-ресурси, які використовуються для одержання подальшої освіти, вибору професії та сфери діяльності, постійного підвищення фахових знань, кваліфікації та ін.

Зупинимось на окремих освітніх ресурсах, котрі набули найбільшого поширення.

Віртуальні бібліотеки спростили пошук та видачу необхідної інформації. Вони можуть бути універсальні або тематичні. До переваг віртуальних бібліотек можна віднести:

- наявність засобів оптимізації пошуку необхідного видання;
- відсутність обмежень на одночасне використання декількох видань;
- можливість використання документів в електронному вигляді з подальшою локалізацією окремих фрагментів;
- мережеві довідники та енциклопедії.

Найбільшого поширення набувають так звані **віртуальні музеї**. Їх можна охарактеризувати як:

1) набір інформаційних ресурсів, який може включати в себе картини, малюнки, фотографії, діаграми, графіки, записи, відео, газетні статті, стенограми інтерв'ю, чисельні бази даних, а також багато інших матеріалів, що можуть зберігатися у файловому сервісі музею;

2) колекція цифрових записів, звукових файлів, текстових документів та інших даних: історич-

них, наукових, культурних, які доступні через електронні засоби масової інформації.

Віртуальні музеї можуть використовуватися в освітній діяльності, забезпечуючи доступ до всіх необхідних експонатів. Цифрова колекція віртуального музею може бути організована як віртуальний тур і розширений пошук.

Соціальні геосервіси – сервіси мережі Інтернет, що дозволяють знаходити, позначати, коментувати, постачати фотографіями різні об'єкти в будь-якому місці на зображенні земної кулі з досить високою точністю. Використовуються реальні дані, одержані за допомогою навіколосемних супутників.

Мережеві карти знань – спосіб зображення процесу загального системного мислення за допомогою схем. Також може розглядатися як зручна техніка альтернативного запису. В перекладах термін може звучати по-різному – карти розуму, карти пам'яті, інтелект-карти. Серед сервісів побудови карт знань, що з'явилися в мережі останнім часом, найбільш простим є сервіс Bubl.us.

Соціальні пошукові системи – це системи, які дозволяють користувачам самим визначати, в якому напрямі вести пошук, які сайти переглядати насамперед, на які слова звертати першочергову увагу і як представляти знайдені результати. На основі пошукових систем нового покоління можна побудувати свої власні індивідуальні або колективні пошукові машини. Пошук можна адаптувати до певної тематики, до певного співтовариства.

У результаті поширення соціальних сервісів у мережевому доступі виявляється величезна кількість матеріалів, які можуть бути використані в навчальних цілях. Нові сервіси соціального забезпечення радикально спростили процес створення матеріалів і публікацій їх у мережі. Тепер кожний може не тільки одержати доступ до цифрових колекцій, а й взяти участь у формуванні власного мережевого контенту.

Дистанційне навчання – форма організації і реалізації навчально-виховного процесу, за якою його учасники здійснюють навчальну взаємодію принципово й переважно екстериторіально.

Нині найбільшого розвитку набуло дистанційне навчання з використанням Інтернет-технологій, що носить назву Е-ДН та надає можливість здійснювати: вільний запис на дистанційні навчальні курси; самостійне планування навчання; надання свободи в часі, швидкості навчання, відсутності обмеженості у часі, вивчення окремих питань та тем, складання тестів, контрольних та залікових робіт; свобода в виборі місця навчання.

Головними проблемами впровадження Е-ДН є комп'ютерно-технологічна, організаційно-управлінська, психолого-педагогічна та фінансово-економічна.

Авторами статті було розроблено веб-додаток для тестування знань, який є частиною Е-ДН. Взагалі, тестування – це потужний інструмент, що використовується не лише для оцінювання, але й для навчання. Ефективність тестування двостороння, і студент і викладач покращують якість після проведення тестувань. Тільки для студента це якість

навчання, а для викладача це якість викладання. Різноманітність завдань та систематична регулярність тестування дають можливість якісно закріпити вивчений матеріал.

Додаток створений на фреймворку Angular, так як ця технологія забезпечує організацію коду та надає інструменти для створення веб-додатків. Angular дозволяє використовувати HTML в якості мови шаблону, а потім розширити синтаксис для вираження компонентів додатку. Розроблений додаток для тестування є доступним, простим і зручним для користувачів. Він дозволяє проаналізувати наскільки правильно студенти та учні розуміють викладений матеріал і пропонується до використання для викладачів і вчителів, які хотіли б використовувати інтерактивні засоби навчання.

Висновки

Структура освітнього інформаційного середовища складається з блоків:

- управління навчанням;

- менеджмент навчального закладу (генератор розкладу уроків, домашні завдання, електронний щоденник, електронний журнал);

- електронна бібліотека (художня, навчальна література, методичні та дидактичні матеріали, освітнє законодавство),

- блок використання дистанційного навчання (технології віртуальних класів, онлайнвідеоуроки, система індивідуального навчання);

- блок спілкування між користувачами (групи за інтересами, новини, анонси подій, пошта).

Отже, комп'ютеризація й доступ до мережі Інтернет в вищих навчальних закладах - це не лише нові технічні можливості для сфери освіти, а й доступ до гігантських обсягів інформації. Сучасні інструментальні засоби відкривають широкі перспективи для візуалізації та інтерактивності навчального процесу. Завдяки новому рівню інформаційного забезпечення стає можливим удосконалення методів освітньої діяльності, раціональне використання праці педагогів та адміністрації ВНЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ашеро́в А. Т. Наукові та методичні основи формування інформаційної культури студентів технічних університетів : [текст] / А. Ашеро́в, Т. Богданова. - Х. : УІПА, 2010. - 407 с.- (Серія "Інженерна педагогіка").
2. Баловсяк Н. В. Інформаційна компетентність фахівця : [текст] / Н. В. Баловсяк // Педагогіка і психологія професійної освіти. - 2004. - № 5. - С. 21-28.
3. Биков В. Ю. Технологія створення дистанційного курсу: навч. посіб. / В.Ю. Биков, В.М. Кухаренко, Н.Г. Сиротенко, О.В. Рибалко, Ю.М. Богачков. - К.: Міленіум, 2008. - 324 с.
4. Дем'яненко В. Використання сучасних веб-технологій для системи контролю та моніторингу знань студентів / В. Demianenko, N. Ichanska // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. - Полтава: ПНТУ, 2019. - Т. 2 (54). - С. 83-86. - doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.083>.
5. Жаболенко М. В., Жданова Н. О. // Стратегія інноваційного розвитку системи вищої освіти в Україні: матеріали міжнародної науково-практичної конференції / гол. ред. С. В. Смерічевська. - Донецьк: Кальміус, 2007 р.
6. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
7. Ічанська Н.В., Омелян О.М. Використання інформаційно- комунікаційних технологій у процесі викладання математики / Математика в сучасному технічному університеті: Матеріали Шостої МНТК, (Київ 28-29 грудня, 2017 р.) - Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського (Київ), 2018. - С. 370-374. <http://matan.kpi.ua/public/files/2017/mvstu6/MSTU6.pdf>.
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Матвієнко О. В. Інформаційна освіта: інноваційні аспекти : [текст] / О. В. Матвієнко. - К. : КНУКіМ, 2003. - 126 с.
10. Морзе Н. В. Основи інформаційно-комунікаційних технологій: [текст] / Наталія Вікторівна Морзе. - К. : BHV, 2007. - 350 с.

Received (Надійшла) 20.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.11.2020

Educational internet resources and online environment in the educational activities of the teacher of the higher education institution

N. Ichanska, V. Demianenko

Abstract. The subject of the research is informatization and computerization of education. The article presents and analyzes the most popular educational resources that have become an integral part of the educational activities of teachers. These include distance learning platforms, virtual libraries and museums, online knowledge maps, social search engines and geoservices. Each of the elements of educational online resources used to improve learning technologies is effective and contributes to the informatization of education. At the present stage of development of society and education, the main goal is to prepare the student for active and productive life in the information society, to ensure the quality, accessibility and effectiveness of education. To effectively implement this process, it is necessary to apply the targeted impact of the management system on all areas of education and the wider use of modern information technology. **Results** - a list of advantages and disadvantages of existing educational Internet resources that effectively influence the educational process. A web application for testing knowledge related to the elements of distance learning has been developed. **Conclusions** - the paper considers the impact of information technology on the educational process and education in general and offers a qualitative list of Internet resources and online environments that are effective for informatization and computerization of education, including personally created resources.

Keywords: informatization, educational Internet resources, information society, computerization, distance learning, virtual libraries, virtual museums, network knowledge maps, social search engines, social geoservices.

С. В. Лада

Управління ДСНС України у Черкаській області, Черкаси, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МНОЖИН НЕСИМЕТРИЧНИХ ДВООПЕРАНДНИХ ДВОРОЗРЯДНИХ ОПЕРАЦІЙ З ПОДВІЙНИМ ЦИКЛОМ КРИПТОПЕРЕТВОРЕННЯ

Анотація. Робота присвячена дослідженню множин несиметричних двооперандних дворозрядних криптооперацій з подвійним циклом криптоперетворення для їх застосування в потокових і блокових шифрах. Серед множини несиметричних двооперандних двохрозрядних операцій синтезованих за результатами обчислювального експерименту визначено множини операцій, які включають в себе операції прямого і оберненого перетворення. Виходячи з взаємозв'язків між кортежами однооперандних операцій прямого і оберненого криптоперетворення, дані множини і включені в них операції було названо операціями подвійного циклу перетворення. Запропоновано послідовність перетворень результатів експерименту, представленого парами кортежів однооперандних операцій кодування і декодування, яка забезпечує побудову математичних моделей операцій, придатних для практичної реалізації.

Ключові слова: криптографічне кодування, криптоперетворення, несиметричні операції криптоперетворення, синтез операцій.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні потреби якісної роботи таких організацій як ДСНС України вимагають забезпечення захисту великих обсягів конфіденційності інформації з максимальною швидкістю та максимальною надійністю. Одним з високоефективних напрямів захисту інформації є криптографічний захист. Як відомо, сучасні криптосистеми використовують потокове та блокове шифрування. Однією з головних переваг потокового шифрування над блоковим є висока швидкість виконання операцій криптоперетворення, що досягається за рахунок застосування симетричних операцій [1]. Проте застосування асиметричних алгоритмів блокового шифрування має в більшості випадків переваги по надійності та криптостійкості, а значить несиметричні операції криптоперетворення також заслуговують необхідності дослідження. Виходячи з цього, актуальними стають завдання «інтеграції» принципів асиметричного блокового шифрування в потокове на основі несиметричних операцій криптоперетворення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За останні роки з'явилась значна кількість публікацій присвячених криптографічному кодуванню, одному з напрямів розвитку комп'ютерної криптографії [2-5]. В рамках даного напрямку, особливої уваги заслуговують дослідження присвячені розширенню спектра операцій придатних до криптоперетворення, що базуються не на класичному додаванню по модулю, а на різноманітних модифікаціях [6-8], а також на побудові операцій з заданими властивостями [9-11]. Проте, слід зазначити, що майже всі дослідження нових модифікованих операцій, таких як наприклад операції з точністю до перестановки зосереджені на симетричних операціях [12-14]. Дослідженню множин несиметричних операцій увага майже не приділялась.

В роботі [15] для експериментального синтезу двооперандних операцій криптографічного перетворення інформації була використана множина однооперандних операцій (табл. 1). В роботі [16] на

основі обчислювального експерименту з синтезу двооперандних дворозрядних криптооперацій на основі однооперандних були знайдені пари операцій прямого та коректного оберненого криптоперетворення інформації на основі повного перебору. З цих пар було виділено 20 множин несиметричних двооперандних двохрозрядних операцій. Проведений в роботі [16] поділ на множини базувався на виокремленні двооперандних операцій, таблиці істинності яких співпадають з точністю до перестановки.

Метою роботи є дослідження множин несиметричних двооперандних дворозрядних криптооперацій з подвійним циклом криптоперетворення для застосування в потокових і блокових шифрах.

Основний матеріал

Виходячи з того, що одним із шляхів вирішення проблеми підвищення якості криптосистем є збільшення варіативності операцій придатних для криптоперетворення, можемо висунути гіпотезу, що якість потокового шифрування може бути підвищена за рахунок застосування в ньому несиметричних операцій криптоперетворення. Проведемо аналіз отриманих множин. При проведенні дослідження виявилось, що множини несиметричних двооперандних операцій можна поділити на 2 групи. До першої групи відносяться 6 множин, які умовно можна назвати множинами несиметричних двооперандних операцій подвійного циклу криптоперетворення, тобто дана множина містить всі операції як для кодування так і для декодування (табл. 2). До другої групи належать 14 множин потрійного циклу крипто перетворення.

Аналіз даних множин (табл. 1) показав, що за алгоритмом проведення оберненого криптоперетворення можна утворити три математичні групи несиметричних двооперандних двохрозрядних операцій. Отже були встановлені нові раніше невідомі взаємозв'язки між однооперандними та двооперандними операціями, що забезпечило синтез нових математичних груп несиметричних двооперандних операцій криптоперетворення.

Таблиця 1 – Однооперадні двохранні операції криптографічного перетворення інформації

$F_1 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$	$F_7 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{13} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}$	$F_{19} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
$F_2 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_2 \end{bmatrix}$	$F_8 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{14} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}$	$F_{20} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
$F_3 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix}$	$F_9 = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{15} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix}$	$F_{21} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
$F_4 = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}$	$F_{10} = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{16} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}$	$F_{22} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$
$F_5 = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix}$	$F_{11} = \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{17} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix}$	$F_{23} = \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}$
$F_6 = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_1 \end{bmatrix}$	$F_{12} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$	$F_{18} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}$	$F_{24} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}$

Таблиця 2 – Множини несиметричних двооперадних двохранних операцій «подвійного циклу криптоперетворення»

Множина 1		Множина 2	
$O_{1,20,13,8} \leftrightarrow O_{2,7,14,19}$	$O_{18,21,12,3} \leftrightarrow O_{15,6,9,24}$	$O_{1,7,21,15} \leftrightarrow O_{3,9,13,19}$	$O_{20,2,17,11} \leftrightarrow O_{23,5,8,14}$
$O_{8,1,20,13} \leftrightarrow O_{7,14,19,2}$	$O_{21,12,3,18} \leftrightarrow O_{24,15,6,9}$	$O_{7,1,15,21} \leftrightarrow O_{9,3,19,13}$	$O_{17,11,2,20} \leftrightarrow O_{14,8,23,5}$
$O_{13,8,1,20} \leftrightarrow O_{14,19,2,7}$	$O_{4,23,10,17} \leftrightarrow O_{5,16,11,22}$	$O_{15,21,1,7} \leftrightarrow O_{13,19,9,3}$	$O_{4,16,24,12} \leftrightarrow O_{6,18,10,22}$
$O_{20,13,8,1} \leftrightarrow O_{19,2,7,14}$	$O_{10,17,4,23} \leftrightarrow O_{11,22,5,16}$	$O_{21,15,7,1} \leftrightarrow O_{19,13,3,9}$	$O_{12,24,4,16} \leftrightarrow O_{10,22,18,6}$
$O_{3,18,21,12} \leftrightarrow O_{6,9,24,15}$	$O_{17,4,23,10} \leftrightarrow O_{16,11,22,5}$	$O_{11,17,20,2} \leftrightarrow O_{8,14,5,23}$	$O_{16,4,12,24} \leftrightarrow O_{18,6,22,10}$
$O_{12,3,18,21} \leftrightarrow O_{9,24,15,6}$	$O_{23,10,17,4} \leftrightarrow O_{22,5,16,11}$	$O_{2,20,11,17} \leftrightarrow O_{5,23,14,8}$	$O_{24,12,16,4} \leftrightarrow O_{22,10,6,18}$
Множина 3		Множина 4	
$O_{1,16,10,19} \leftrightarrow O_{4,7,13,22}$	$O_{18,8,2,24} \leftrightarrow O_{14,6,12,20}$	$O_{1,7,19,13} \leftrightarrow O_{3,9,15,21}$	$O_{18,6,24,12} \leftrightarrow O_{16,4,10,22}$
$O_{10,1,19,16} \leftrightarrow O_{7,22,4,13}$	$O_{24,2,8,18} \leftrightarrow O_{20,12,6,14}$	$O_{7,1,13,19} \leftrightarrow O_{9,3,21,15}$	$O_{24,12,18,6} \leftrightarrow O_{22,10,4,16}$
$O_{16,19,1,10} \leftrightarrow O_{13,4,22,7}$	$O_{3,23,11,15} \leftrightarrow O_{5,9,21,17}$	$O_{13,19,7,1} \leftrightarrow O_{15,21,3,9}$	$O_{5,23,17,11} \leftrightarrow O_{2,20,8,14}$
$O_{19,10,16,1} \leftrightarrow O_{22,13,7,4}$	$O_{11,3,15,23} \leftrightarrow O_{9,17,5,21}$	$O_{19,13,1,7} \leftrightarrow O_{21,15,9,3}$	$O_{11,17,23,5} \leftrightarrow O_{8,14,2,20}$
$O_{2,18,24,8} \leftrightarrow O_{6,20,14,12}$	$O_{15,11,23,3} \leftrightarrow O_{17,21,9,5}$	$O_{6,18,12,24} \leftrightarrow O_{4,16,22,10}$	$O_{17,11,5,23} \leftrightarrow O_{14,8,20,2}$
$O_{8,24,18,2} \leftrightarrow O_{12,14,20,6}$	$O_{23,15,3,11} \leftrightarrow O_{21,5,17,9}$	$O_{12,24,6,18} \leftrightarrow O_{10,22,16,4}$	$O_{23,5,11,17} \leftrightarrow O_{20,2,14,8}$
Множина 5		Множина 6	
$O_{1,13,7,19} \leftrightarrow O_{4,10,16,22}$	$O_{14,2,8,20} \leftrightarrow O_{18,12,6,24}$	$O_{1,19,13,7} \leftrightarrow O_{2,8,14,20}$	$O_{18,24,12,6} \leftrightarrow O_{15,3,9,21}$
$O_{7,19,1,13} \leftrightarrow O_{10,4,22,16}$	$O_{20,8,2,14} \leftrightarrow O_{24,6,12,18}$	$O_{7,13,19,1} \leftrightarrow O_{8,2,20,14}$	$O_{24,18,6,12} \leftrightarrow O_{21,9,3,15}$
$O_{13,1,19,7} \leftrightarrow O_{16,22,4,10}$	$O_{3,21,9,15} \leftrightarrow O_{5,11,23,17}$	$O_{13,7,1,19} \leftrightarrow O_{14,20,2,8}$	$O_{5,17,11,23} \leftrightarrow O_{4,22,10,16}$
$O_{19,7,13,1} \leftrightarrow O_{22,16,10,4}$	$O_{9,15,3,21} \leftrightarrow O_{11,5,17,23}$	$O_{19,1,7,13} \leftrightarrow O_{20,14,8,2}$	$O_{11,23,5,17} \leftrightarrow O_{10,16,4,22}$
$O_{8,20,14,2} \leftrightarrow O_{12,18,24,6}$	$O_{15,9,21,3} \leftrightarrow O_{17,23,11,5}$	$O_{6,12,24,18} \leftrightarrow O_{3,15,21,9}$	$O_{17,5,23,11} \leftrightarrow O_{16,10,22,4}$
$O_{2,14,20,8} \leftrightarrow O_{6,24,18,12}$	$O_{21,3,15,9} \leftrightarrow O_{23,17,5,11}$	$O_{12,6,18,24} \leftrightarrow O_{9,21,15,3}$	$O_{23,11,17,5} \leftrightarrow O_{22,4,16,10}$

Дослідимо для прикладу деякі операції четвертої множини несиметричних двооперадних двохранних операцій подвійного циклу криптоперетворення».

Нехай буде вибрана операція $O_{1,7,19,13}$, тоді оберненою операцією буде операція $O_{3,9,15,21}$. Для взаємозв'язків прямої і оберненої операції введемо позначення:

$O_{1,7,19,13}^k$ – операція кодування,

$O_{3,9,15,21}^d$ – операція декодування.

Розглянемо більш детально операцію $O_{1,7,19,13}^k$.

Якщо значення першого операанда позначити через x , а другого операанда через k , який одночасно є командою вибору перетворення першого операанда, тоді відповідно до табл. 1 отримаємо:

$$O_{1,7,19,13}^k = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix};$$

$$\text{декодування} - O_{3,9,15,21}^d = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}.$$

За результатами взаємоперетворення отримано: якщо $O_{1,7,19,13}^k = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$ – кодування, тоді $O_{3,9,15,21}^d = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$ – декодування. Якщо операція – $O_{3,9,15,21}$, тоді оберненою буде $O_{1,7,19,13}$:

$$O_{3,9,15,21}^k = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix};$$

$$O_{1,7,19,13}^d = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 0; k_2 = 1 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 0 \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}, \text{ якщо } k_1 = 1; k_2 = 1 \end{cases} = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}.$$

Якщо $O_{3,9,15,21}^k = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_1 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$ – операція кодування, тоді $O_{1,7,19,13}^d = \begin{bmatrix} x_1 \oplus k_1 \\ x_2 \oplus x_2 \oplus k_2 \end{bmatrix}$ буде операцією декодування.

Розглянуті послідовності взаємоперетворень дозволяють перейти від результатів обчислювального експерименту по пошуку пар несиметричних операцій криптоперетворення подвійного циклу до математичних моделей даних операцій, що забезпечує можливість практичного застосування їх в

комп'ютерній криптографії як на апаратному так і програмному рівні.

Висновки

Серед множини несиметричних двооперандних двохранних операцій синтезованих за результатами обчислювального експерименту визначено множини операцій, які включають в себе операції прямого і оберненого перетворення.

Виходячи з взаємозв'язків між кортежами однооперандних операцій прямого і оберненого криптоперетворення, дані множини і включені в них опе-

рації було названо операціями подвійного циклу перетворення.

Запропоновано послідовність перетворень результатів експерименту, представленого парами ко-

ртежів однооперандних операцій кодування і декодування, яка забезпечує побудову математичних моделей операцій, придатних для практичної реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. V. Rudnitsky, R. Verdybaev, R. Breus, N. Lada, M. Pustovit. Synthesis of reverse two-bit dual-operated strictly straight cryptographic coding on the basis of another operation. Сучасні інформаційні системи. Щоквартальний науково-технічний журнал – Х.: НТУ «ХПІ» 2019, Т 3, №4 С. 109-114. doi: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.16>
2. Криптографічне кодування: обробка та захист інформації: колективна монографія / під ред. В.М. Рудницького. – Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – 139 с.
3. Криптографічне кодування: синтез операцій потокового шифрування з точністю до перестановки: монографія / В.М.Рудницький, Н.В. Лада, В.Г. Бабенко. - Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. – 184 с.
4. Breus R. Синтез двоохрозрядних двооперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування шляхом перетворення другого операнда / R. Breus // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Т. 5 (57). – С. 29-32. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.5.029>.
5. Рудницький В.М., Лада Н.В., Федотова-Півень І.М., Пустовіт М.О., Нестеренко О.Б. Побудова двоохрозрядних двооперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтава: ПНТУ, 2018. Т. 6(52). С. 113–115. doi:<http://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.113>
6. Fedotova-Piven I.M. The inversion method of four-bit boolean sac cryptotransforms / I.M. Fedotova-Piven, V.M. Rudnitskiy, O.B. Piven, T.V. Mironyuk // Radio Electronics, Computer Science, Control.- NU «Zaporizhzhia Polytechnic». - 2019. № 4(51). – P. 199-210. doi: <http://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-4-19> p-ISSN 2313-688X
7. Faure E.V., Shcherba A.I. and Rudnytskyi V.M. The Method and Criterion for Quality Assessment of Random Number Sequences. Cybernetics and Systems Analysis Volume 52, Issue 2 (March 2016), pp 277-284. doi:<http://doi.org/10.1007/s10559-016-9824-3>.
8. Лада Н.В., Козловська С. Г., Рудницький С. В. Побудова математичної групи симетричних операцій на основі додавання за модулем два. Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал. Київ, 2019. No 4 (59). С. 33-41. - Режим доступу: http://suchasnaspetstehnika.com/journal/ukr/2019_4/6.pdf
9. Рудницький В. М., Бабенко В. Г., Рудницький С. В. Метод синтезу матричних моделей операцій криптографічного кодування та декодування інформації. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків: ХУПС ім. І.Кожедуба, 2012 Вип. 4 (33). С. 198-200.
10. Lada N., Dzyuba V., Breus R., Lada S. Synthesis of sets of non-symmetric two-operand two-bit crypto operations within the permutation accuracy Technology audit and production reserves, 2020, № 2/2 (52), С. 28-31. - DOI: [10.15587/2312-8372.2020.202099](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.202099)
11. Рудницький В. М., Миронюк Т. В., Мельник О. Г., Щербина В. П. Синтез елементарних функцій перестановок, керування інформацією. Безпека інформації. К.: НАУ, 2014. Т. 20, № 3. С. 242–247. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bezin_2014_20_3_7
12. Лада Н. В., Козловська С. Г. Застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в потокових шифрах (2018). Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. праць. Полтава: ПНТУ, Т. 1 (47), 127-130. doi:<http://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.127>
13. Лада Н. В., Козловська С. Г., Рудницька Ю. В. Дослідження і синтез групи симетричних модифікованих операцій додавання за модулем чотири (2019). Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Збірник наукових праць. Кропивницький: КНТУ. Вип. 2 (33), 181–189. doi:[http://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).181-189](http://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).181-189)
14. Rudnitsky V., Verdybaev R., Breus R., Lada N., Pustovit M. Synthesis of reverse two-bit dual-operated strictly straight cryptographic coding on the basis of another operation (2019). Сучасні інформаційні системи. Щоквартальний науково-технічний журнал. Х.: НТУ «ХПІ», Т 3, №4 С. 109-114. doi: <http://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.16>
15. Рудницький В.М., Бабенко В.Г., Жилияев Д.А. Алгебраїчна структура множини логічних операцій кодування. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. наук.-техн. журн. Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба. 2011. No 2 (6). С. 112-114 - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2011_2_30.
16. Lada N., Dzyuba V., Breus R., Lada S. Synthesis of sets of non-symmetric two-operand two-bit crypto operations within the permutation accuracy. Technology audit and production reserves, 2020, № 2/2 (52), С. 28-31. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.202099>.

Received (Надійшла) 16.08.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.10.2020

Investigation of sets of asymmetric two-operate two-discharge operations with a double cycle of crypto transformation

S. Lada

The work is devoted to the study of sets of asymmetric two - operand two - bit cryptocurrencies with a double cycle of cryptocurrency for their application in stream and block ciphers. Among the set of asymmetric two-operand two-bit operations synthesized by the results of a computational experiment, many operations are defined, which include direct and inverse transformation operations. Based on the relationships between tuples of single-operand direct and reverse cryptocurrency operations, these sets and the operations included in them have been called double-loop conversion operations. The sequence of transformations of results of the experiment presented by pairs of tuples of single-operand operations of coding and decoding which provides construction of the mathematical models of operations suitable for practical realization is offered.

Keywords: cryptographic coding, cryptocurrency conversion, asymmetric cryptocurrency operations, synthesis of operations.

І. Г. Ліберг¹, О. О. Можаяєв², Г. А. Кучук¹

¹ Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», Харків, Україна

² Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків, Україна

КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКА ПРИ СТАТИСТИЧНОМУ МУЛЬТИПЛЕКСУ ВАННІ

Анотація. Мета статті – розробка методу, який дозволяє отримати оперативну оцінку основних статистичних характеристик агрегованого трафіка на комутаційному вузлі мультисервісної мережі, що здійснює статистичне мультиплексування вхідних потоків, використовуючи значення відліків вхідних потоків. **Результати.** Запропоновано метод, що дозволяє отримати оперативну оцінку основних статистичних характеристик (на прикладі математичного сподівання і дисперсії) агрегованого трафіку на комутаційному вузлі мультисервісної мережі, що здійснює статистичне мультиплексування вхідних потоків. Запропонований метод ґрунтується на апроксимації функції щільності розподілу швидкості окремого вхідного потоку трафіку. Доведено, що для отримання оцінки досить значень максимальної бітової швидкості і берстності кожного вхідного потоку, які розраховуються за відліком трафіку. Точність і часові витрати на розрахунок оцінки визначаються масштабом шкали відліків комутаційного вузла. Великомасштабні шкали підвищують оперативність розрахунку значень статистичних характеристик, однак дають істотну погіршеність оцінки, дрібномасштабні шкали збільшують витрати обчислювального ресурсу комутаційного вузла, однак, знижують помилку репрезентативності.

Ключові слова: агрегований трафік, мультисервісна мережа, комутаційний вузол, берстність, функція щільності розподілу, бітова швидкість потоку..

Вступ

В даний час повсюдно швидкими темпами розвиваються нові інформаційні та телекомунікаційні технології, спрямовані на підвищення пропускної спроможності існуючих мереж передачі даних. Успіхи в області засобів обчислювальної техніки, використання передавальних середовищ з високими швидкостями передачі і малими значеннями ймовірності помилки, різке збільшення обсягів переданого трафіка привели до створення локальних інформаційно-керуючих систем, телекомунікаційне середовище яких є мультисервісним, передбачає численні модифікації швидкої комутації пакетів, широко-смугову пакетну комутацію [1].

Постановка проблеми в загальному вигляді.

В сучасних мультисервісних мережах необхідно проведення попередньої оцінки рівня вимог до основних параметрів мережі, в першу чергу до продуктивності центрів комутації і необхідної швидкості передачі цифрових трактів зв'язку, що дозволяє встановити відповідність між попитом, ємністю і пропускною спроможністю і дає відповідь на питання про можливість надання того чи іншого виду послуг. Однак розв'язанню цієї проблеми перешкоджає велика кількість факторів, таких як слаба вивченість телекомунікаційних мереж з інтегральним трафіком, відсутність загальних методик розрахунку характеристик трафіка в таких мережах і ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В [2] показано, що широкий діапазон швидкостей передачі, істотний статистичний характер інформаційних потоків в інтегральних мережах, велика різноманітність мережних конфігурацій значно ускладнюють опис трафіка в сучасних інформаційних системах в порівнянні з класичними мережами зв'язку.

В [3] обґрунтовано вимогу наявності можливості будь-якої зміни ширини смуги пропускання каналу, причому плавно і практично на будь-яку величину, що робить в ряді випадків неприйнятним для аналізу характеристик реального мережного трафіка використання класичного підходу [3], заснованого на марківських або напівмарківських моделях і припущеннях щодо пуассонівського характеру потоків [1-3]. У ряді робіт аналіз характеристик трафіка проводиться на основі його статистичного характеру в системах з довготривало залежними процесами на вході [4-12]. Однак, в загальному вигляді проблема оперативного отримання характеристик реального трафіка в мультисервісних мережах на сьогодні не вирішена [13, 14]. Зокрема, актуальною є задача отримання оперативної оцінки статистичних характеристик трафіка, утвореного на комутаційних вузлах мережі при агрегуванні окремих інформаційних потоків, які направляються одним маршрутом.

Метою даної статті є розробка методу, який дозволяє отримати оперативну оцінку основних статистичних характеристик агрегованого трафіка на комутаційному вузлі мультисервісної мережі, що здійснює статистичне мультиплексування вхідних потоків, використовуючи значення відліків вхідних потоків.

Результати досліджень

Розглянемо комутаційний вузол мультисервісної мережі, на якому для подальшого проходження мережею агрегується I вхідних потоків (ВП) [3]. Нехай i -й потік ($i = \overline{1, I}$) характеризується випадковим процесом $V_i(t)$, що визначає сімейство випадкових функцій швидкості передачі інформації конкретних сеансів. Даний стохастичний процес, розглянутий протягом деякого часового інтервалу $[0, T_i]$,

можна охарактеризувати такими параметрами [4]:

$$V_i^{(\max)} = \max_{t \in [0, T_i]} V_i(t) - \text{піковою швидкістю пе-}$$

редачі i -го ВП;

$$V_i^{(cp)} = \int_0^{T_i} V_i(t) dt - \text{середньою швидкістю пе-}$$

редачі (математичним сподіванням) i -го ВП;

$$k_i^{(p)} = \frac{V_i^{(\max)}}{V_i^{(cp)}} - \text{берстністю [3], що визначає}$$

співвідношення між величинами пікової та серед-
ньої швидкості;

$$T_i^{(\max)} - \text{тривалістю пікового навантаження.}$$

Нехай обсяг інформації, переданої за час $t \in [0, T_i]$, характеризується випадковою величиною $W_i(t)$ з максимально можливим значенням

$$W_i^{(\max)} = V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}. \quad (1)$$

Тоді
$$V_i(t) = \frac{dW_i(t)}{dt}. \quad (2)$$

Розглянемо ймовірність досягнення пікової швидкості передачі трафіка i -го ВП на даному часо-
вому інтервалі $[0, T_i]$, що дорівнює

$$P_i = P\left(V_i(t) = V_i^{(\max)}\right). \quad (3)$$

Із (1) и (3) випливає, що розглянута ймовір-
ність характеризує не тільки швидкість передачі
інформації, але і передані обсяги:

$$\begin{aligned} V_i(t) = V_i^{(\max)} &\Rightarrow \left(V_i(t) \cdot T_i^{(\max)} = V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}\right) \equiv \\ &\equiv \left(W_i(t) = W_i^{(\max)}\right) \Rightarrow P_i = P\left(W_i(t) = W_i^{(\max)}\right). \end{aligned}$$

Розіб'ємо часовий інтервал $[0, T_i]$ на дві під-
множини вкладених інтервалів таким чином:

$$\mathfrak{Z}_i^{(1)} \cup \mathfrak{Z}_i^{(2)} = [0, T_i]; \quad \mathfrak{Z}_i^{(1)} \cap \mathfrak{Z}_i^{(2)} = \emptyset;$$

$$\forall t^{(1)} \in \left[t_i^{(1)'}; t_i^{(1)''}\right] \subset \mathfrak{Z}_i^{(1)} \Rightarrow V_i\left(t^{(1)}\right) = V_i^{(\max)}; \quad (4)$$

$$\forall t^{(2)} \in \left[t_i^{(2)'}; t_i^{(2)''}\right] \subset \mathfrak{Z}_i^{(2)} \Rightarrow V_i\left(t^{(2)}\right) < V_i^{(\max)}.$$

Розбиття (4) дозволяє визначити тривалість пі-
кового навантаження на заданому інтервалі

$$T_i^{(\max)} = \sum_{\left[t_i^{(1)'}; t_i^{(1)''}\right] \subset \mathfrak{Z}_i^{(1)}} \left|t_i^{(1)''} - t_i^{(1)'}\right| \quad (5)$$

і знайти значення ймовірності досягнення пікової

швидкості передачі трафіка i -го ВП на розглядає-
мому часовому інтервалі. Для цього розрахуємо пло-
щі, що відповідають $\mathfrak{Z}_i^{(1)}$ и $\mathfrak{Z}_i^{(2)}$:

$$\Theta_1 = \int_{\mathfrak{Z}_i^{(1)}} V_i(t) dt = V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}; \quad (6)$$

$$\Theta_2 = \int_{\mathfrak{Z}_i^{(2)}} V_i(t) dt; \quad (7)$$

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_2 = V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)} + \Theta_2. \quad (8)$$

Тоді шукана ймовірність дорівнює

$$P_i = \frac{\Theta_1}{\Theta} = \frac{V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}}{V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)} + \Theta_2}. \quad (9)$$

Використовуючи узагальнену інтегральну тео-
рему про середнє запишемо, що

$$\exists \eta \in [0, T_i] \mid \Theta_2 = V_i(\eta) \cdot \left(T_i - T_i^{(\max)}\right). \quad (10)$$

Вважаючи, що

$$\Theta = \Theta_1 + \Theta_2 = V_i^{(cp)} \cdot T_i, \quad (11)$$

а також вираз (7), знайдемо значення Θ_2 :

$$\Theta_2 = \Theta - \Theta_1 = V_i^{(cp)} \cdot T_i - V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}. \quad (12)$$

Відмітимо, що із (10) и (12) випливає, що

$$V_i(\eta) = \frac{\Theta_2}{T_i - T_i^{(\max)}} = \frac{V_i^{(cp)} \cdot T_i - V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}}{T_i - T_i^{(\max)}}.$$

Із (9) и (11) отримаємо, що

$$P_i = \frac{V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)}}{V_i^{(cp)} \cdot T_i} = k_i^{(p)} \cdot \frac{T_i^{(\max)}}{T_i}. \quad (13)$$

Вважаючи на те, що розглядається трафік ок-
ремого джерела, $\Theta_2 > 0$ [3], тобто, виходячи із (12)
отримаємо:

$$V_i^{(cp)} \cdot T_i - V_i^{(\max)} \cdot T_i^{(\max)} > 0;$$

$$\frac{V_i^{(\max)}}{V_i^{(cp)}} \cdot \frac{T_i^{(\max)}}{T_i} < 1 \Rightarrow k_i^{(p)} \cdot \frac{T_i^{(\max)}}{T_i} < 1,$$

що узгоджується з виразом (13).

Знаючи ймовірність досягнення пікової швид-
кості можна визначити ймовірність того, що пікова
швидкість не буде досягнута:

$$q_i = 1 - P_i = P\left(V_i(t) < V_i^{(\max)}\right). \quad (14)$$

Для подальшого аналізу необхідно знати величину розкиду можливих значень випадкової величини V_i на даному часовому інтервалі $[0, T_i]$.

Для цього визначимо щільність розподілу $f(V_i)$ даної випадкової величини, при якій досягається $\sup D[V_i]$.

При відомій щільності ймовірності дисперсія розраховується як

$$D[V_i] = \int_{-\infty}^{\infty} V_i^2 f(V_i) dV_i - M^2[V_i] = \int_0^{V_i} V_i^2 f(V_i) dV_i - \left(\int_0^{V_i} V_i f(V_i) dV_i \right)^2 \quad (15)$$

Аргумент V_i приймає значення у діапазоні від $V_i^{(\min)}$ до $V_i^{(\max)}$ ($0 \leq V_i^{(\min)} < V_i^{(\max)}$). Виходячи із цього проведемо апроксимацію $D[V_i]$, розбивши відрізок $\Delta = [V_i^{(\min)}; V_i^{(\max)}]$ на n рівних частин $\Delta_j = [V_i^{(j-1)}; V_i^{(j)}]$ таким чином, що:

$$\bigcup_{j=1}^n \Delta_j = \Delta; \quad \bigcap_{j=1}^n \Delta_j = \emptyset.$$

Тоді вибравши всередині кожного відрізка Δ_j за теоремою про інтегральне середнє точку ξ_j , дисперсію можна представити, виходячи із (11), як

$$D[V_i] = \sum_{o=1}^m \xi_o^2 \cdot \int_{V_i^{(j-1)}}^{V_i^{(j)}} f(V_i) dV_i - \left(\sum_{o=1}^m \xi_o \int_{V_i^{(j-1)}}^{V_i^{(j)}} f(V_i) dV_i \right)^2 \quad (16)$$

Відмітимо, що $\int_{V_i^{(j-1)}}^{V_i^{(j)}} f(V_i) dV_i = p_j$, $\sum_{j=1}^n p_j = 1$,

та позначивши $\vec{p} = (p_1, \dots, p_n)$. знайдемо екстремум дисперсії (16), використовуючи метод множників Лагранжа для задачі оптимізації:

$$\sum_{j=1}^n p_j \cdot \xi_j^2 - \left(\sum_{o=1}^n p_j \cdot \xi_j \right)^2 \rightarrow \text{extr};$$

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1, \quad p_j \geq 0. \quad (17)$$

Складемо лагранжіан задачі (17):

$$L(\vec{p}, \lambda) = \sum_{j=1}^n p_j \cdot \xi_j^2 - \left(\sum_{o=1}^n p_j \cdot \xi_j \right)^2 - \lambda \left(\sum_{j=1}^n p_j - 1 \right)$$

та знайдемо його безумовний екстремум із такої системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial p_j} = 0, \quad j = \overline{1, n}; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \xi_j^2 - 2\xi_j \left(\sum_{j=1}^n p_j \cdot \xi_j \right) - \lambda = 0; \\ \sum_{j=1}^n p_j - 1 = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Із першого рівняння системи знайдемо ξ_j :

$$\xi_j = \tilde{m}_\xi \pm \sqrt{\tilde{m}_\xi^2 + \lambda}, \quad \text{где } \tilde{m}_\xi = \sum_{j=1}^n p_j \cdot \xi_j, \quad (19)$$

тобто для множників Лагранжа, що задовольняють умові $\lambda > -\tilde{m}_\xi^2$ існує тільки два різних значення ξ_j :

ξ_1 і ξ_2 , при цьому:

$$n = 2; \quad p_1 = p_i; \quad p_2 = 1 - p_1 = q_i,$$

тобто функція розподілу ймовірності має дискретний вигляд, а щільність розподілу

$$f(V_i) = p_i \delta(V_i - \xi_1) + q_i \delta(V_i - \xi_2), \quad (20)$$

де $\delta(\cdot)$ – функція Дірака.

Тоді для випадкової величини V_i :

$$M[V_i] = p_i \xi_1 + q_i \xi_2 = p_i \xi_1 + (1 - p_i) \xi_2; \quad (21)$$

$$D[V_i] = (1 - p_i) p_i (\xi_1 - \xi_2)^2. \quad (22)$$

Вочевидь, що $\sup D[V_i]$ досягається при максимальному значенні множника $(\xi_1 - \xi_2)^2$, тобто

$$\xi_1 = V_i^{(\max)}; \quad \xi_2 = V_i^{(\min)}. \quad (23)$$

Із (21) – (23) слідує, що

$$M[V_i] = p_i V_i^{(\max)} + (1 - p_i) V_i^{(\min)}. \quad (24)$$

Але $M[V_i] = V_i^{(cp)}$, а значення $V_i^{(\min)}$ для реальних процесів можна прирівняти до нуля, тобто:

$$p_i = V_i^{(cp)} / V_i^{(\max)} = \left(k_i^{(p)} \right)^{-1}; \quad (25)$$

$$D[V_i] = (1 - p_i) p_i \left(V_i^{(\max)} \right)^2. \quad (26)$$

З огляду на те, що ВП, що надходять на комутаційний вузол, незалежні, виходячи з виразів (25) – (27) розрахуємо математичне сподівання і дисперсію агрегованого потоку:

$$M_a = \sum_{i=0}^I \frac{V_i^{(\max)}}{k_i^{(p)}}, \quad D_a = \sum_{i=0}^I \frac{1 - k_i^{(p)}}{\left(k_i^{(p)} \right)^2} \left(V_i^{(\max)} \right)^2. \quad (27)$$

Значення змінних $V_i^{(\max)}$ і $k_i^{(p)}$ можна отримати за відліками ВП на комутаційному вузлі значень випадкової величини V_i .

Висновки та перспективи подальших досліджень

У статті розглянуто метод, що дозволяє отримати оперативну оцінку основних статистичних характеристик (на прикладі математичного сподівання і дисперсії) агрегованого трафіку на комутаційному вузлі мультисервісної мережі, що здійснює статистичне мультиплексування вхідних потоків. Запропонований метод ґрунтується на апроксимації функції щільності розподілу швидкості окремого вхідного

поточку трафіку. Доведено, що для отримання оцінки досить значень максимальної бітової швидкості і берстності кожного вхідного потоку, які розраховуються за відліком трафіку. Точність і часові витрати на розрахунок оцінки визначаються масштабом шкали відліків комутаційного вузла. Великомасштабні шкали підвищують оперативність розрахунку значень статистичних характеристик, однак дають істотну погрішність оцінки, дрібномасштабні шкали збільшують витрати обчислювального ресурсу комутаційного вузла, однак, знижують помилку репрезентативності. Тому завдання вибору оптимальної шкали відліків трафіку, що надходить на комутаційний вузол мультисервісної мережі, є **напрямком подальших досліджень**.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куроуз, Дж. Компьютерные сети. 2-е изд [Текст] / Дж. Куроуз, К. Росс. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
2. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телеграфика и ее приложения. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 288 с.
3. Кучук, Г.А., Гахов, Р.П., Пашнев А.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций. М.: Физматлит, 2006. 220 с.
4. Кучук, Г.А. Моделирование трафика мультисервисной распределенной телекоммуникационной сети [Текст] / Г.А. Кучук, И.Г. Кіріллово, А.А. Пашнев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50 – 59.
5. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
6. Nechausov A., Mamusu I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
7. Mozhaev M., Kuchuk N., Usatenko M. (2019) The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук // Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
10. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
11. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
12. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
13. Кучук, Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі [Текст] / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасева, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
14. Олифер, В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 943 с.

Received (Надійшла) 16.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Method of the aggregated traffic statistical descriptions operative estimation

I. Liberg, O. Mozhaev, N. Kuchuk

Abstract. The purpose of the article is to develop a method that allows to obtain an operational assessment of the main statistical characteristics of aggregated traffic at the switching node of a multiservice network, which performs statistical multiplexing of input streams using the values of input streams. **Results.** A method is proposed that allows to obtain an operative estimate of the main statistical characteristics (on the example of mathematical expectation and variance) of aggregated traffic at the switching node of the multiservice network, which performs statistical multiplexing of input streams. The proposed method is based on the approximation of the density distribution function of a single input traffic flow. It is proved that the values of the maximum bit rate and roughness of each input stream, which are calculated from the traffic count, are sufficient to obtain an estimate. The accuracy and time spent on calculating the estimate are determined by the scale of the scale of the switching node. Large-scale scales increase the efficiency of calculating the values of statistical characteristics, but give a significant error of estimation, small-scale scales increase the cost of the computing resource of the switching node, however, reduce the error of representativeness.

Keywords: aggregated traffic, multiservice network, interconnect knot, burst, function of distributing closeness, bit flowrate.

М. В. Липчанський, О. О. Ільяшенко

Національний технічний університет «ХПІ», Харків, Україна

ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ CODE FIRST ТА DESIGN FIRST В РОЗРОБЦІ API

Анотація. У статті розглянуті питання щодо дизайну та моделювання API під час розробки програмних продуктів. Останнім часом виявлено, що API можна використовувати в якості повноцінних продуктів та інтерфейсів для бізнесу, що значно дозволяє розширити власну ціннісну пропозицію за допомогою можливостей партнерів, та з'єднуватися з клієнтами за допомогою різноманітних каналів. Метою статті є огляд, аналіз, та порівняння методу Design First на базі OpenAPI Specification з підходом Code First для створення типового RESTful API. На основі підходу Design First можна виконувати розробку API базуючись на згенерованому boilerplate-кодi з опису (контракту) OpenAPI або інших форматів опису, тестових сценаріях та заглушках, що дозволяє розпаралелити виконання задач між виконавцями та підвищити швидкість розробки. Наведені результати порівняння продуктивності розробки на базі API, які створені із використанням двох підходів, встановлено, що реалізація API підходом Design First надає ряд переваг для різних суб'єктів розробки у порівнянні з методом Code First. За допомогою Burndown діаграми та розрахунку Velocity (швидкості) роботи команди зроблено висновок, що підхід Design First дозволяє отримувати більш швидко виконання поставлених завдань.

Ключові слова: Design First; Code First; API; RESTful API; OpenAPI Specification.

Вступ

Постановка проблеми. API (Application Programming Interface) або прикладні програмні інтерфейси являються набором програмного коду, що забезпечує передачу даних між одним програмним продуктом та іншим. Вони також містять умови цього обміну даними та слугують інтерфейсами, що дозволяють програмам спілкуватися одна з одною протягом десятиліть. Але роль API різко змінилася за останні кілька років. Інноваційні компанії виявили, що API можна використовувати в якості інтерфейсів для бізнесу, що дозволяє їм монетизувати цифрові активи, розширити свою ціннісну пропозицію за допомогою можливостей, що надають партнери, та підключитися до клієнтів через різноманітні канали.

Аналіз літератури. Проте для отримання якісного продукту у вигляді API на початкових етапах розробки завжди постає питання дизайну API. Послідовність у сфері дизайну API – це тема, яка широко обговорюється. Стандартизований дизайн API – це важливе питання, яке організаціям потрібно вирішувати на своєму шляху під час створення API, яке легко підтримувати, застосовувати та використовувати. Тим не менш, організації не витрачають достатньо часу на стандартизацію способу розробки API, частково тому, що вони не усвідомлюють цінність цього питання [1-11].

Виклад основного матеріалу

API складаються з двох компонентів:

1. Технічна специфікація, що описує варіанти обміну даними між рішеннями, специфікація виконана у формі запиту на обробку та протоколи доставки даних;

2. Інтерфейс програмного забезпечення, написаний за специфікацією, яка його представляє.

Кожен API містить і реалізується за допомогою функціональних викликів – мовних операторів, які вимагають програмного забезпечення для виконання певних дій та послуг. Виклики функцій – це фрази,

що складаються з дієслів та іменників. Формати опису API виступають як контракт, який кінцеві користувачі можуть використовувати, щоб зрозуміти, як найкраще працювати з API. Цей контракт є мовно агностичним і інтерпретується як людьми, так і машинами, що допомагає спростити засвоєння та покращити взаємодію між програмами. Що стосується використання форматів опису API, то з'явилися дві важливі школи: підходи Design First та Code First до розробки API. Підхід Code First – це більш традиційний підхід до побудови API, причому розробка коду відбувається після викладання бізнес-вимог, з часом генеруючи документацію з коду. Підхід Design First виступає за початкову розробку контракту API перед написанням будь-якого коду. Це відносно новий підхід, але він швидко набирає популярність, особливо із використанням форматів опису API. Щоб краще зрозуміти два підходи, треба побачити їх місце у життєвому циклі створення API (рис. 1).

Як і будь-який продукт, концепція API починається з того, що команда бізнесу визначає ідею. Ідея аналізується, і план, щоб скористатися нею, створюється в текстовому документі стратегами, аналітиками та іншими представниками бізнесу. Потім цей документ передається команді розробників, де план набуває певної реальної форми.

В цей момент є дві можливості розробити API:

1. Design First: план перетворюється на зручний для читання людиною чи машиною контракт, з якого у подальшому створюється кодова база.

2. Code First: на основі бізнес-плану API кодується безпосередньо. З цього коду може бути сформований зручний для читання людиною чи машиною документ.

Слід зазначити різницю в тому, що Design First дозволяє швидко розпочати паралельну роботу між командами дослідження та розробки, в той час як з використанням Code First потрібно очікувати на вихід першого випуску API, перш ніж почати його тестування та інтеграцію в код на стороні клієнта (рис. 2).

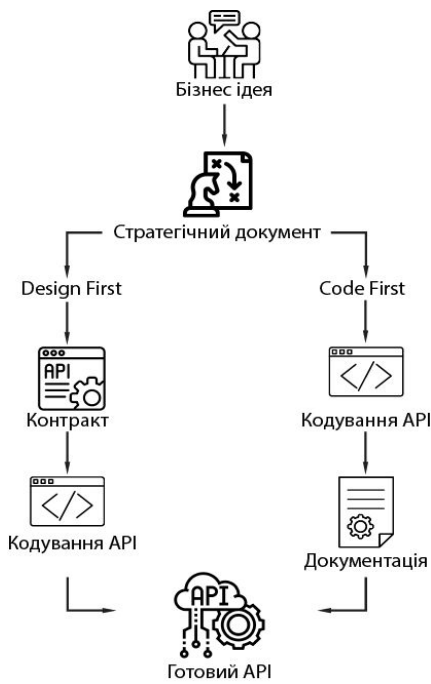


Рис. 1. Загальна схема підготовки та реалізації API

Специфікація OpenAPI, початково відома як Swagger – це специфікація машиночитабельних файлів з інтерфейсами, для опису, створення, використання і візуалізації REST веб-сервісів. Web APIs які відповідають архітектурним обмеженням REST, називаються RESTful API. Ці API використовують HTTP-запити, які також називають методами або дієсловами, для роботи з ресурсами: GET, PUT, HEAD, POST, PATCH, CONNECT, TRACE, OPTIONS та DELETE.

Ця специфікація є частиною моделювання API, тобто створення дизайн-документу, яким можна поділитися з іншими командами розробників, клієнтами або керівниками. Ця схема – це контракт між розробником API та організаціями, клієнтами, які будуть її використовувати. Модель схеми по суті є контрактом описуючи, що таке API, як він працює, і які саме кінцеві точки плануються бути розробленими. Тобто схема є зручним для читання описом кожної кінцевої точки, яка може використовуватися для обговорення API перед написанням будь-якого коду. Специфікація API є ключовим елементом у моделюванні API, який дозволяє виконувати генерацію API-документації, вихідного коду сервера та клієнта (рис. 3).

Специфікація OpenAPI не залежить від мови. Також її можна поширювати на нові технології та протоколи передачі даних. З декларативною специфікацією ресурсу OpenAPI, клієнти можуть розуміти і використовувати сервіси без знання деталей реалізації сервера [8]. Прикладом опису операцій у форматі OpenAPI Specification 3.0.3 YAML, що пов'язані зі створенням, видаленням, оновленням та отриманням за унікальним ідентифікатором ресурсу типу «Абонент» наведено на рис. 4.

Серед інструментів для розробки API підходом Design First слід виділити OpenAPI Generator, що призначений для створення клієнтських бібліотек

API, заглушок сервера, конфігурацій та документації з OpenAPI 2.0 та 3.x документів. Він має широкий спектр функцій і використовується широким колом користувачів, деякі з яких також є супровідниками. OpenAPI Generator зосереджений на простоті використання; він позиціонує себе як інструмент зменшення навантаження на нові розробки та технології за рахунок інтеграції та використання документів OpenAPI (рис. 5).

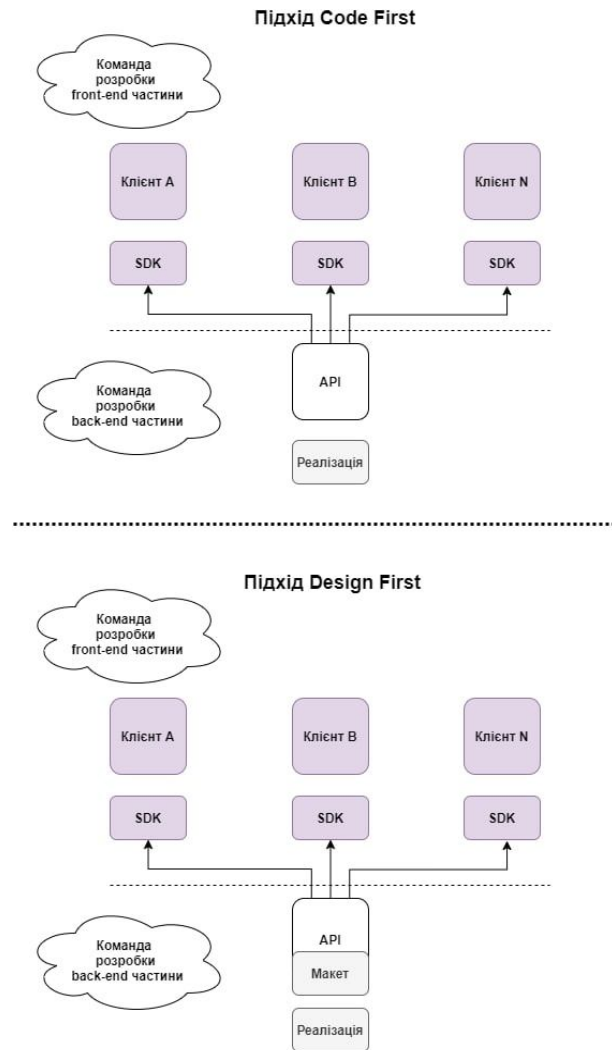


Рис. 2. Порівняння підходів Design First та Code First у площині паралельної роботи команд розробки



Рис. 3. Структура моделювання API, з визначеною специфікацією API

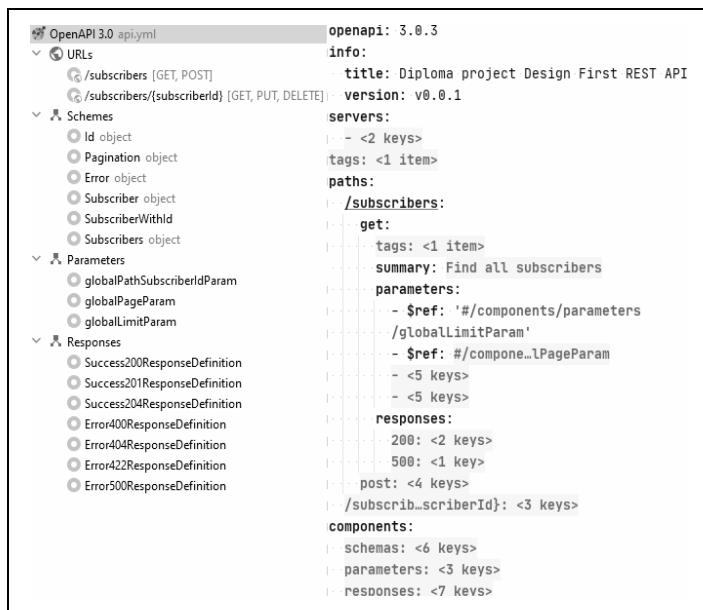


Рис. 4. Структура документу OpenAPI Specification YAML



Рис. 5. Загальна схема роботи OpenAPI Generator

Результатом порівняння може слугувати burn-down діаграма (діаграма згорання), яка є графічним представленням про те, як швидко команда працює з одними історіями (інструмент, який використовується для опису завдання з точки зору кінцевого користувача). Burndown діаграма показує загальний внесок у роботу в загальному обсязі роботи для кожної ітерації. За шкалою Y відзначають кількість запланованих балів (в даному випадку), годин або кількість. За шкалою X відзначають кількість днів

до закінчення спринту. Спринт – це короткий часовий інтервал, протягом якого команда розробників виконує заданий обсяг роботи.

Початкові задачі тестового проекту та умови їх виконання були однаковими для обох реалізацій, підходом Code First та Design First. На рис. 6 зображена діаграма для тестового проекту, що відображає завершений спринт та показує невіршені завдання і трудовитрати, необхідні для їх завершення з розрахунку на 20 робочих днів.

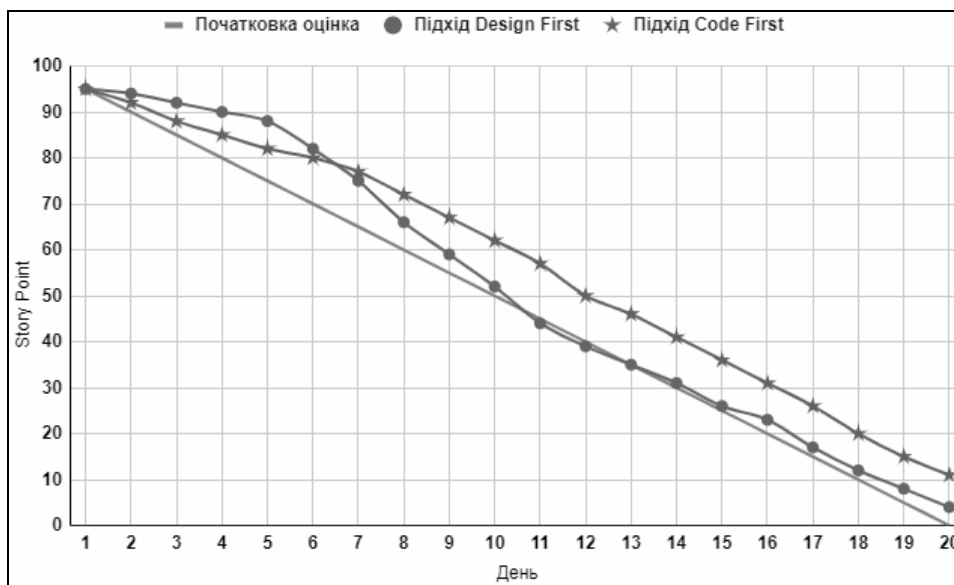


Рис. 6. Burndown діаграма розробки підходами Code First та Design First

Базуючись на burndown діаграмі проекту можна зробити висновки, що з підходом Code First кількість балів історій, які були завершені, є меншою в порівнянні з Design First. Використовуючи поняття Velocity (швидкості) роботи команди можна порівняти продуктивність розробки кожним із підходів:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

де v – швидкість команди;
 Δx – кількість завершених історій;
 Δt – кількість ітерацій.

Для Code First це значення дорівнює 84 завершених історій на 1 ітерацію, а для Design First – 91. Тобто виконання поставлених завдань, використовуючи Code First, відбувалося з меншою швидкістю. Серед причин негативних результатів можна виділити відсутність паралельної роботи серед команд розробників, написання більшої кількості boilerplate-коду та переробки більшої частини функціональності після відгуку користувачів API. Взагалі одним з найважливіших аспектів підходу Design First є здатність отримувати зворотний зв'язок дуже швидко завдяки таким проектним аспектам, як:

- документація – спільне використання цієї документації з усіма можливими зацікавленими сторонами, такими як різні члени команди досліджень та розробок, може призвести до генерації корисних вказівок і думок, оскільки кожна зацікавлена сторона має різний погляд і, ймовірно, представляє різні аудиторії для API;

- тестування – оскільки визначення API є контрактом, його можна перевірити ще до того, як буде впроваджена бізнес-логіка;

- згенеровані заглушки коду серверної частини – розробники, які починають впроваджувати бізнес-логіку, можуть знаходити проблеми на етапі

програмування та відповідно оновлювати визначення API.

Висновки

В результаті проведеного аналізу було встановлено те, що реалізація API підходом Design First надає ряд переваг для різних суб'єктів розробки у порівнянні з методом Code First. Для розробників API можна виділити можливість генерації коду та заглушок із визначення документа-опису API. Інші розробники, що є користувачами API, можуть використовувати ці заглушки, що зменшує час розробки продукту в цілому. Це надає їм додаткову швидкість і послідовність (оскільки можливо налаштувати шаблони відповідно до своїх потреб).

Design First підхід має місце лише на етапі до або на ранній стадії розробки API, і початковим результатом цього підходу є зручне для читання людиною чи машиною визначення API. Опис API у документі OpenAPI, що є реалізацією підходу Design First, дозволяє використовувати інструменти для автоматизації багатьох процесів, пов'язаних з API, а саме: генерація boilerplate-коду, тестових модулів, заглушок майбутніх методів та базового каркасу додатку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Patni, S. (2017), Pro RESTful APIs: Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS, 1st ed., Apress, Santa Clara, California, USA, 126 p.
2. Jin, B., Sahni, S. and Shevat, A. (2018), Designing Web APIs, 1st ed., O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA, USA, 232 p.
3. "Understanding the API-First Approach to Building Products", [Електронний ресурс. – Режим доступу до матеріалу: <https://swagger.io/resources/articles/adopting-an-api-first-approach/>
4. "What is API: Definition, Types, Specifications, Documentation", [Електронний ресурс, 2019. – Режим доступу до матеріалу: <https://www.altexsoft.com/blog/engineering/what-is-api-definition-types-specifications-documentation/>
5. Gontovnikas, M. "The Business Value of API-First Design", [Електронний ресурс, 2020. – Режим доступу до матеріалу: <https://auth0.com/blog/the-business-value-of-api-first-design/>
6. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
7. Nechausov A., Mamusuç I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
8. Ponelat, J.S. and Rosenstock, L.L. (2021), Designing APIs with Swagger and OpenAPI, Manning, 400 p.
9. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
10. Rosenstock, L. "OpenAPI and Design-First Principles", [Електронний ресурс, 2018. – Режим доступу до матеріалу: <https://stoplight.io/blog/openapi-and-design-first-principles-96e7c4b2aec1/>
11. Takashi, N. "An API-First Approach For Designing Restful APIs", [Електронний ресурс, 2020. – Режим доступу до матеріалу: <https://hackernoon.com/an-api-first-approach-for-designing-restful-apis-5tu3zru>

Received (Надійшла) 22.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.11.2020

Comparison of code first and design first approaches in api development

M.v. lipchanskyi, o.o. iliashenko

Abstract. This article deals with API design and modelling issues in software development. Recently it has been found that the API can be used as full-fledged products and interfaces for business, significantly allows to expand your own value proposition with the help of partners' capabilities, and to connect with clients through various channels. The purpose of the article is to review, analyze and compare the Openapi specification-based Design First method with the Code First approach to create a Restful API. Based on the Design First approach, you can develop an API which based on the generated boilerplate code from the Openapi description (contract) or other description formats, test scripts and stubs, which allows to parallelize execution of tasks between performers and increase speed of development. The results of the comparison of the performance of the API-based development, which are created using two approaches, are shown, that the implementation of the API approach Design First offers a number of advantages for different developers compared to the Code First method. Using Burndown diagram and calculating Velocity (the speed) of the team's work, it is concluded that the Design First approach allows faster execution of the tasks.

Keywords: Design First, Code First, API, RESTful API, OpenAPI Specification.

В. О. Поддубний¹, О. В. Северінов¹, О. С. Пустомельник²

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків, Україна

МЕНЕДЖМЕНТ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ПОЛІТИКИ БЕЗПЕКИ ІТС

Анотація. Предметом дослідження в статті є менеджмент вразливостей у складі системи управління інформаційною безпекою. **Мета роботи** – розгляд сучасних стандартів, нормативних документів, що встановлюють та регулюють процеси управління вразливостями та ризиками, що пов’язані з вразливостями. В статті здійснюється розгляд процесу інтеграції менеджменту вразливостей в систему управління інформаційною безпекою та його форми. **Висновки:** в сучасних системах управління інформаційною безпекою належним чином не враховуються вразливості та ризики, пов’язані з вразливостями, сучасна нормативна база України майже не регулює та не встановлює вимог для систем захисту інформації в області вразливостей. В даний час процеси керування та оцінювання ризиків покладено на адміністраторів, тому для ефективного менеджменту вразливостей необхідна чітка система правил і методик. Розробка такої системи являється перспективною задачею, а при процесі модернізації стандартів, вимог України через деякий час стане необхідністю. При додаванні якісної системи оцінки вразливостей така система буде чіткою, нормованою та слугуватиме вказівником щодо дій в конкретній ситуації.

Ключові слова: Менеджмент вразливостей, СУІБ, CVSS, ISO/IEC 27005, ISO/IEC 27035, ISO/IEC 35001, NVD.

Вступ

Програмне забезпечення – це складова частина інформаційно-телекомунікаційної системи, проте під час розробки програмного забезпечення виникають помилки, деякі помилки не несуть в собі небезпеки, а деякі становлять серйозну загрозу інформаційно-телекомунікаційним системам (далі – ІТС). Для забезпечення безпеки та працездатності ІТС важливо вести контроль за виявленням, усуненням та супроводженням вразливостей в програмному забезпеченні (далі – ПЗ).

Тому необхідно під час розробки та експлуатації системи здійснювати менеджмент вразливостей, який регламентує, яким чином виявляти вразливість, реагувати на тих та встановлює відповідальність за процеси менеджменту.

Однією із частин менеджменту вразливостей є оцінка ризиків, така оцінка необхідна для вибору рішень щодо реакції на певну вразливість [1]. Такими рішеннями може бути: оновлення програмного забезпечення, прийняття ризику, здійснення додаткових налаштувань, ручне усунення або виправлення, зменшення бізнес процесу тощо.

Проте слід зауважити, що хоча це досить важливий і необхідний процес, в Україні не існує вимог чи настанов, які зобов’язують чи допомагають організаціям в веденні такого менеджменту. Наслідки такого відношення можуть сприяти різноманітним кіберінцидентам, що несуть збитки бізнес процесам компаній. Так наприклад одні з найбільших кібератак в Україні (WannaCry і Petya) були здійснені через використання вразливостей протоколу SMB [2].

Тому управління вразливостями є необхідним процесом, що не виключить вразливості в ПЗ, проте пом’якшить або усуне наслідки від їх наявності, допоможе в встановленні відповідальності за процеси керування вразливостями та нормує дії в різних ситуаціях. Такий менеджмент також покращує розуміння впливу конкретної вразливості на окремі компоненти,

або систему в цілому, це допомагає встановити коли необхідно приймати ризик (якщо вплив мінімальний), а коли здійснювати виправлення, адже оновлення програмного забезпечення, або здійснення ручного виправлення може наражати систему на нові вразливості, а зупинка чи обмеження бізнес процесу несе за собою збитки для компанії.

Виклад основного матеріалу

Вразливості програмного забезпечення мають різний характер по своїй структурі, походженню, критичності, тощо. Тому постає питання правильного контролю за різними типами вразливостей. Для оцінки впливу вразливості зазвичай використовують систему оцінки вразливостей CVSS (Common Vulnerability Scoring System) версії 2.0 або 3.0. За допомогою даної системи можна слідкувати за вразливостями, та приймати рішення що до мір реагування. CVSS намагається призначити показники критичності вразливості, що дозволяє респондентам визначати пріоритети дій та ресурсів відповідно до загрози. Оцінки розраховуються на основі виразу, що залежить від кількох показників. Оцінки коливаються від 0 до 10, де оцінка 10 означає найвищий ступінь критичності вразливості. Рівень небезпеки можна оцінити за шкалою FortiGuard, де оцінка за системою CVSS переводиться в рівні критичності. Оцінка від 0.1 до 3.9 значить низький рівень загрози, від 4 до 6.9 середній, від 7 до 8.9 високий, від 9 до 10 критичний. Так наприклад за період з 6.11.2020 по 12.11.2020 знайдено 401 нова вразливість (рис. 1), із них 7 критичних та 27 все ще не мають виправлень (рис. 2) [2].

Слід зауважити що в останні роки кількість знайдених вразливостей невпинно зростає (рис. 3), підставляючи під небезпеку все більше програмних засобів та систем в цілому [3-10]. Такий ріст зумовлений ускладненням структури програмних засобів, їх розробкою більшими колективами/компаніями або віддачою розробки на аутсорсінг.

Vulnerability statistics by severity (7 days)

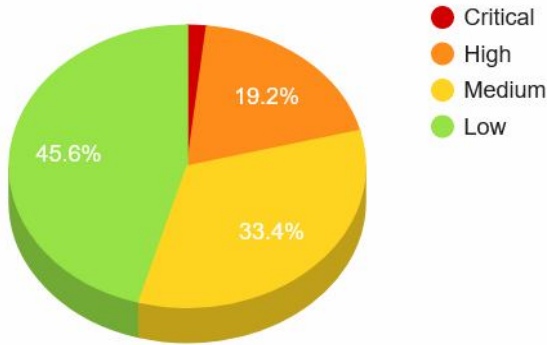


Рис. 1. Ранжування критичності знайдених вразливостей

Vulnerability statistics by patch availability (7 days)

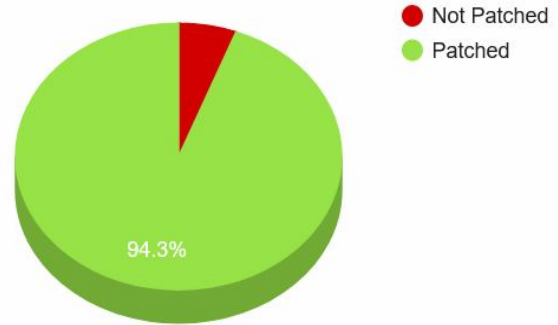


Рис. 2. Кількість не виправлених вразливостей

Total Matches By Year

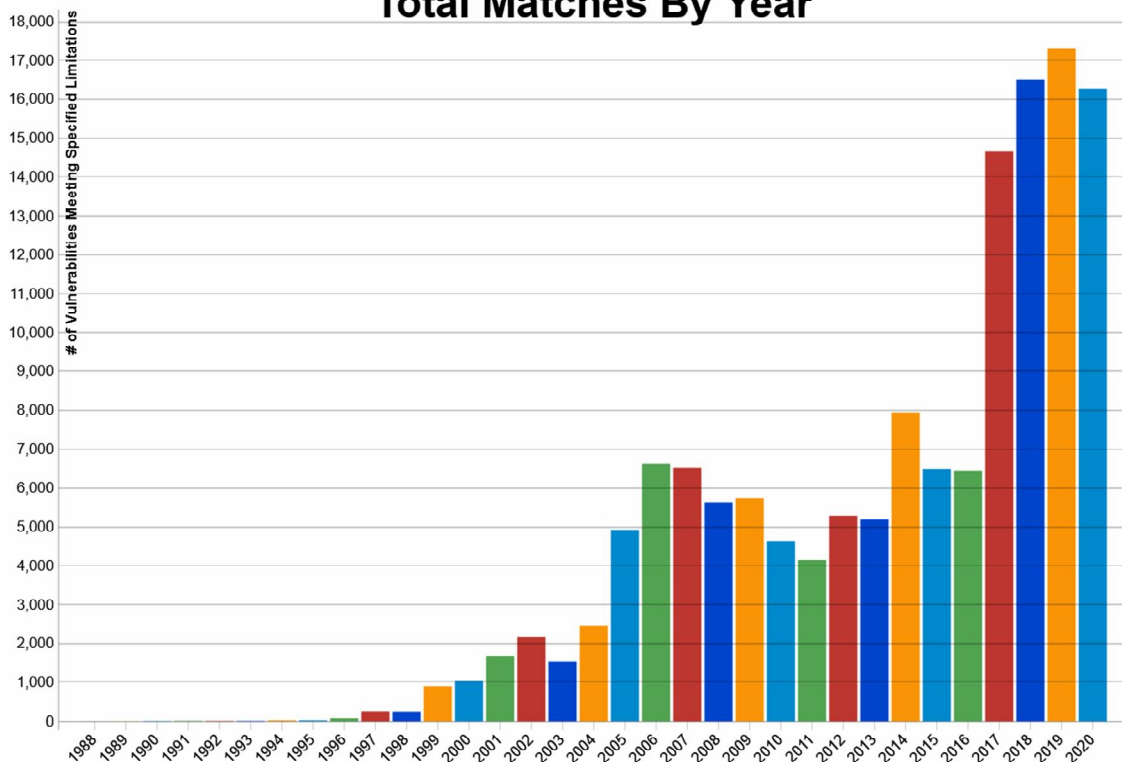


Рис. 3. Кількість виявлених вразливостей згідно National Vulnerability Database

Обробку даної інформації покладено на адміністраторів, які хоч і використовують сканери для виявлення цих вразливостей проте вимушені здійснювати оцінювання ситуації виходячи зі своїх знань та досвіду.

Такий підхід збільшує кількість помилок при прийнятті рішень щодо реагування із-за суб'єктивізації результатів та створює неоднозначність трактування результатів. Також це підвищує вимоги до персоналу, та час адаптації, адже новим адміністраторам необхідно знати добре структуру, склад особливості функціонування системи.

В даний час існують лише гармонізовані стандарти ISO/IEC [11-14], які надають вказівки щодо контролю вразливостей у СУІБ. Також існують додаткові методики такі як «Implementing a

Vulnerability Management Process. SANS Institute Information Security Reading Room» [15] проте ні вони, ні гармонізовані стандарти не надають чітких інструкцій щодо оцінювання ризиків. Ці стандарти та методики мають загальний рекомендований характер щодо оцінювання ризиків, опису етапів менеджменту вразливостей, розподілу обов'язків у СУІБ, форми звітів, рекомендації щодо зв'язків з іншими організаціями тощо.

В даний час діє Наказ Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України № 269 від 14.05.2020 "Про встановлення вимог з безпеки та захисту інформації до кваліфікованих надавачів електронних довірчих послуг та їхніх відокремлених пунктів реєстрації" [16] встановлює як вимогу наявність у кваліфікованого надава-

ча електронних довірчих послуг процедур з управління ризиками, персоналом, операційною безпекою, інцидентами. Цей наказ не встановлює чітких вимог, або форми процедур, проте процес гармонізації та внесення коректив в законодавчу базу показує рух України в даному напрямку. Розроблення, інтеграція, перехід та введення в дію нових вимог, стандартів, правил займе деякий час, проте вже зараз можна сказати, що даний процес вже запущений. Тому менеджмент вразливостей через деякий час стане не додатковим інструментом, а важливою необхідністю.

Однією із форм такого менеджменту є введення його в політику безпеки. Така політика повинна відповідати на ряд питань, а саме: яким чином виявляти вразливості, яким чином оцінювати ризики, як реагувати на вразливості, які дії повинні виконати адміністратор безпеки та аудиту, системний адміністратор, правління, де знаходиться межа прийняття ризику. Для того щоб дати відповіді на ці питання необхідно правильно оцінювати кожну конкретну вразливість, що виникає при експлуатації ІТС.

Тому під час розробки такої політики не обійтися від системи оцінки вразливостей, яка буде здійснювати оцінку впливу як на всю ІТС та на окремі компоненти. Така система повинна сформувати якісні оцінки впливу а при додаванні критичності компонентів системи отримаємо сформовану оцінку ризику конкретної вразливості. Вже описана CVSS, якраз надає якісний бал та вектор впливу, який можна використовувати при реалізації системи менеджменту вразливостей. Цей вектор надає інформацію про вплив на конфіденційність, цілісність, доступність, вектор атаки, наявність виправлень, наявність програмної реалізації експлоїту, тощо. Політика безпеки в даному випадку, встановлюватиме лише дії які необхідно виконати при конкретному значенні ризику.

Для такої системи необхідно правильно оцінювати компоненти та взаємозв'язки компонентів, так як вплив вразливостей може виходити за границі одного об'єкту чи процесу, або вплив вразливості на різні компоненти сколюватиметься й призводитиме до більш значних наслідків.

Схематично така модель матиме вигляд як показано на рис. 4.

В такій системі на вхід подається опис критичності ресурсів в числовому представленні (такі показники формуються заздалегідь під час створення політики безпеки ІТС), та конкретні оцінки вразливостей зі сканерів вразливостей. Ці данні накладаються на опис системи для визначення впливу вразливості на конкретні компоненти, взаємозв'язки між компонентами та загалом на систему. Після цього отримана якісна оцінка впливу слугує вказівником щодо оцінки ризику та вибору конкретних дій. Різні показники матимуть різну методіку, щодо виправлень, або прийняття вразливості, якщо вона не є критичною або не впливає на роботу системи.

Правила реагування на конкретну оцінку повинні бути сформовані заздалегідь, погоджені з керівництвом та адміністраторами.

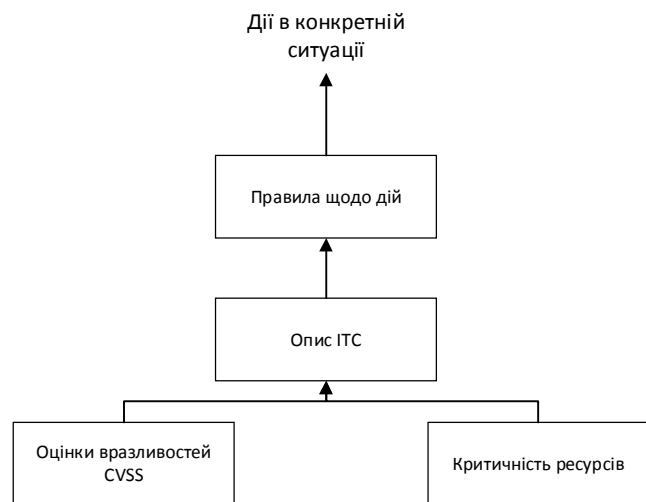


Рис 4. Приклад моделі керування вразливістями в СУІБ

З набору правил вибирається оптимальний варіант щодо дії виходячи з якісної оцінки впливу. Після цього адміністратор здійснює необхідні дії щодо усунення або прийняття ризику пов'язаним з наявністю вразливості.

В даній системі етап оцінки ризику повністю знятий з адміністратора, це означає можливість автоматизації процесів контролю вразливістями, усунення суб'єктивізації небезпеки, однозначності результатів.

Проте незважаючи на переваги такої системи менеджменту вона має один суттєвий недолік, а саме: в даний час не існує правил чи методик які б слугували правилами щодо опису ІТС. Тобто на даний момент сучасний опис ІТС не підходить для реалізації вказаної системи керування вразливістями, такий опис не показує належним чином взаємозв'язки компонентів, процесів, ресурсів, та не може бути використаний для реалізації системи керування вразливістями в СУІБ.

Створювана на базі такого опису система менеджменту не лишиться його недоліків, й матиме вигляд загальних вказівок та рекомендацій, які не матимуть чіткості й будуть схожі на вже існуючі стандарти та методики.

Тому однією з перспективних та необхідних задач на ряду з системою керування вразливістями в СУІБ є модель опису ІТС, яка б дозволила належним чином відтворити процеси та об'єкти в ІТС, їх взаємозв'язки, була б гнучкою в використанні та простою в освоєнні.

Однією із таких моделей є формалізований опис ІТС. На відміну від неформалізованого опису системи формалізований має чітку структуру та форму опису, відображає взаємозв'язки процесів, є гнучким та універсальним. В такій системі вплив вразливості легко відслідкувати від точки контакту до всіх об'єктів інформаційної системи. Формалізація дає змогу виявити загальну структуру системи, сформулювати на цій основі загальні закони і правила, за якими відбувається визначення впливу вразливостей на ІТС.

Також формалізація необхідна для рівнів гарантій (Г-3, Г-4, Г-5 стиль опису ІТС повинен бути частково-формалізований, для Г-6 та Г-3 формалізований).

Висновок

Отже менеджмент вразливостей є досить важливою частиною функціонування ІТС, і з кожним роком його важливість збільшується. Як варіант пропонується суміщення політики безпеки з менеджментом вразливостей. Для інтеграції менеджменту з політикою безпеки необхідна наявність гнучкої системи оцінки впливу вразливостей на ІТС, яка б надавала якісну оцінку впливу для оцінки ризику та визначення дій що-до реагування.

Розробка такої системи являється перспективною задачею, а при процесі модернізації стандартів, вимог України через деякий час стане необхідністю. При додаванні якісної системи оцінки вразливостей така система буде чіткою, нормованою та слугуватиме вказівником щодо дій в конкретній ситуації.

Однією із важливих частин такої системи являється опис ІТС, тому необхідно сформулювати правила опису які б були універсальними та показували взаємозв'язки між компонентами і процесами системи.

Як варіантом такої опис повинен бути формалізованим, для покращення наглядності взаємозв'язків процесів, гнучкості, та автоматизації процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Замула А.А., Северинов А.В., Корниенко М.А. Анализ моделей оценки рисков информационной безопасности для построения системы защиты информации //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 2. – С. 133-138.
2. Cybersecurity Help s.r.o. [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]-Режим доступу: <https://www.cybersecurity-help.cz/>.
3. National Vulnerability Database [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]-Режим доступу: https://nvd.nist.gov/vuln/search/statistics?form_type=Advanced&results_type=statistics&search_type=all.
4. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, №2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
5. Nechausov A., Mamusuč I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
6. Mozhaev M., Kuchuk N., Usatenko M. (2019) The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
7. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
8. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук// Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
9. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
10. Кучук, Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі [Текст] / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
11. Северинов О. В., Черниш В. І., Молчанова М. Є. Управління інформаційною безпекою згідно міжнародних стандартів //Системи управління, навігації та зв'язку.–Вип. – 2011. – Т. 4. – С. 250-253.
12. ISO/IEC 27035:2016. Information technology — Security techniques — Information security incident management, 2016.
13. ISO/IEC 27005 Information technology — Security techniques — Information security risk management, 2018.
14. ISO/IEC 27001 Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements, 2013.
15. Tom Palmaers, Dennis Distler, Implementing a Vulnerability Management Process //SANS Institute Information Security Reading Room, 2013. - 24 с.
16. Про встановлення вимог з безпеки та захисту інформації до кваліфікованих надавачів електронних довірчих послуг та їхніх відокремлених пунктів реєстрації: затв. Адміністрацією Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 14.05.2020 №269.

Received (Надійшла) 29.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Vulnerability management as an integral part of its security policy

V. Poddubnyi, O. Sievierinov, O. Pustomelnik

Abstract. The subject of research in the article is the management of vulnerabilities in the information security management system. The purpose of the work is to consider modern standards that establish and regulate the management of vulnerabilities and risks associated with vulnerabilities. The article considers the process of integration of vulnerability management into information security management system and its form. **Conclusions:** modern information security management system does not properly take into account vulnerabilities and risks associated with vulnerabilities, the current regulatory framework of Ukraine almost does not regulate and does not set requirements for information security systems in the field of vulnerabilities. Currently, the processes of risk management and assessment are entrusted to administrators, so effective management of vulnerabilities requires a clear system of rules and methodologies. The development of such a system is a promising task, and in the process of modernization of standards, requirements of Ukraine after some time will become a necessity. When adding a quality vulnerability assessment system, such a system will be clear, standardized and will serve as a guide to action in a particular situation.

Keywords: Vulnerability Management, ISMS, CVSS, ISO / IEC 27005, ISO/IEC 27035 ISO/IEC 35001, NVD.

I. Ruban¹, I. Ilina¹, M. Mozhaiev²

¹ Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

² Hon. Prof. M.S. Bokarius Kharkiv Research Institute of Forensic Examinations, Kharkiv, Ukraine

RESEARCHING PRIORITY DIRECTIONS IN THE AREA OF DATA MINING

Abstract. In the era of global informatization, social networks are acquiring great importance for obtaining various information by network users. But it must be borne in mind that social networks such as Facebook, Twitter, Instagram contain billions of raw unstructured data, the processing of which is indeed a rather difficult task for research. Data mining allows extracting current information from a large number of data sets, structuring and, after analyzing, gaining knowledge by detecting patterns among the data, which makes it possible to predict changes in the network that have occurred based on the interactions of information flows and events. This information is used in various areas such as business, education, medicine, cyber security, etc. The area of data mining has made tremendous success from its incipience to its current level, but Data Mining continues to face many challenges, especially when processing social media data. This article analyzes the various data mining methods that are used to analyze social networks, as well as explores the top priority areas in the field of data mining based on the review of various studies, and also focuses on the field of data mining in social networks, which will be used in further studies.

Ключові слова: Data Mining, social networks, data extraction, Data Mining methods and algorithms.

Introduction

Using large amounts of data is a hallmark of the 21st century, which produces amazing results when faced with another phenomenon of the century – social networks. Today, almost 96% of the world's population have access to social networks and this number has reached 2.34 billion people. Nowadays, out of the 100 most visited sites in the world there are 20 which are classic social networks and another 60 are socialized to one degree or another. More than 80% of companies around the world use social networks in their professional activities. About 78% of people trust information from social networks. By the number of users, Facebook is in first place – about 1.5 billion. Scientists have calculated that the minimum time a user spends on a social network is 3 hours, while he/she visits his/her account at least twice a day [1].

By registering on social networks, users are given the opportunity to communicate with relatives, friends, colleagues, and also make new acquaintances. Social networks can be used for self-development and self-study, gaining access to various information of interest. It is also possible to join a community on a specific topic and gain knowledge in specific areas. Social networks are a means for business development. Advertising can be directed to the target audience and one can find new customers, increase the loyalty of regular customers. Social networks have provided an opportunity to use a large amount of information, develop, improve and earn money.

But social networks have a number of negative features: due to the abundance of entertaining, superficial and often unnecessary garbage information, the time spent on the social network increases significantly. Such a pastime can negatively affect health, because a large amount of information often tires and burdens the nervous system. The disadvantage is that a person loses the skill of real communication, because he/she gets used to online communication. When texting on social networks, people often do not follow the rules of grammar and punctuation, use a poor

vocabulary, emotions are replaced by emoticons – all this negatively affects communication in the real world. Intelligence agencies use social networks to organize surveillance. Intelligence agents account for approximately 15% of public network users.

It should also be taken into account bursts of group hate speech on social networks such as anti-Muslim, anti-immigrant, racist, anti-Semitic, homophobic, etc. A recent publication by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) indicates that “the nature of hate speech on the Internet and its impact on speech and offline behavior are poorly understood” and “the underlying reasons for these phenomena in which certain types of content appear, lead to actual discrimination, hostility or violence” [2].

Today, using social networks is continuously and rapidly increasing. Even more significant is the fact that these networks have evolved into a sizable pool of unstructured data belonging to multiple domains including business, governments, healthcare, etc. The data structure of social networks is not organized and is displayed in various forms such as text, voice, image and video [3]. Moreover, social networks provide a huge amount of continuous data in real time, including those in the form of time series, which makes traditional statistical methods not always effective for analyzing large amounts of data [4]. Consequently, data mining methods that combine mathematical and statistical approaches can play a significant role in overcoming this problem and facilitate data structuring. At the same time, the relevance of combined or hybrid forecasting methods, as well as methods for complexing forecast ratings [5], increases. It should also be taken into account that the primary data in many cases are characterized by various kinds of uncertainty, which necessitates the adaptation of traditional methods of analysis to such features [6].

Most of the predictive algorithms under these conditions are designed to function in real time [7].

Data Mining in Social Networks

When studying large-scale social networks data mining methods and algorithms are used. Analyzing the

data in social networks is of great interest for many reasons. For example, studying large social networks allows understanding social behavior in different contexts. In addition, by analyzing the roles of users involved in the network, it is possible to identify how information flows and opinions are disseminated in the network, and which of them are the most influential (Fig. 1). In addition, since the users of social networks may receive too much information from time to time, data mining of social networks can be used to support them by providing recommendations and filtering information on their behalf [4].

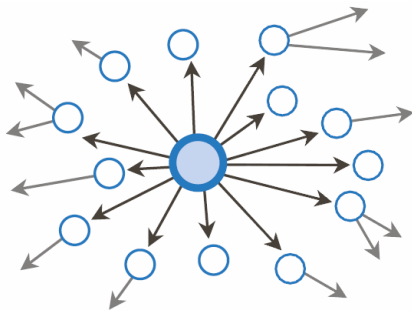


Fig. 1. Identification of the Most Influential Users in a Social Network

By understanding the characteristics of a particular social network, it is possible to build a mathematical model that explains the processes in the network. The mathematical model allows predicting future changes in the network, it becomes possible to simulate the behavior of users on the network.

Data mining includes the following stages: understanding and formulating the analysis problem, preparing data for automated analysis, applying Data Mining methods and building models, checking the constructed models, interpreting models by a person [8].

1. Collecting Data from Social Networks.

Social networks, forums, news and entertainment portals and blogs contain a lot of material from which one can get information about the preferences and characteristics of users and companies. For this, first of all, it is necessary to identify the user in each source, which is not possible for all resources – on many of them users do not register or indicate insufficient data to identify them. Even where there is sufficient identification data, additional user information may not be useful. In this regard, social networks are the most suitable source containing information for identifying network participants, and additional data on preferences, marital status, education, social circle, etc.

In general, the task of enriching user profiles is as follows: using basic data (name, surname, date of birth, city), additional information is searched: circle of interests, social status, area of professional activity, musical preferences, etc. The task is to collect data about the client from social networks, identify him/her, enrich the data and form a single profile for each user (Fig. 2). One of the simplest ways to extract data is to use the services of specialized companies that collect and constantly update data from many sources. The main advantage here is the speed of obtaining information, which is essential with large volumes of the client base

and the use of various social networks. The disadvantage is the paid subscription for data updates.

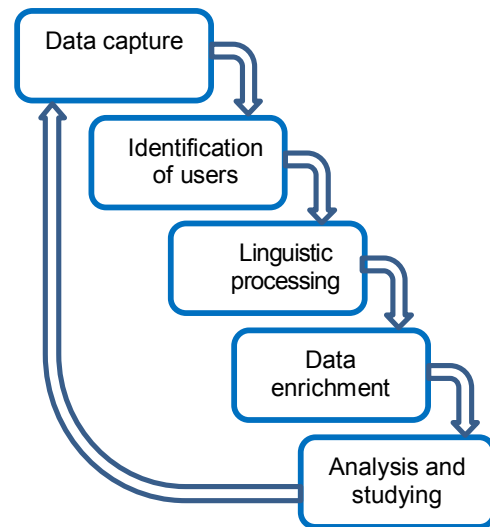


Fig. 2. Enriching User Profiles.

The next way is to use application programming interfaces (APIs) provided by almost all popular social networks. For different networks, APIs differ in the set of available data, restrictions on the number of requests, and the cost of accessing the interfaces. The disadvantages of this method include the limitation on the number of simultaneous requests and the number of calls that the application can make per unit of time. In addition, one needs constantly to monitor changes in the APIs and update the data collection application, with some social networks providing important data only on a paid basis. The advantages of the method are the ability to retrieve data about a single user in a structured form (JSON or XML), as well as the ease of integrating API calls into one's own application.

One more way is the manual parsing of web pages of social networks, as well as the use of ready-made search robots (crawlers) to collect data with subsequent parsing. In this case, one has access to all open data and there are no restrictions on the speed of their collection. The disadvantages include the complexity of the implementation – the web page of each social network is unique, so each time one will have to develop one's own parsing rules, the complexity of support and the need for large computing resources, but this process is well parallelized.

The simplest identification method is to search for an exact match of all known user characteristics, but it must be borne in mind that the corresponding characteristics in social networks are reliable only to a certain extent – they may be absent or deliberately false, or allow different spellings. Therefore, before carrying out identification, it is necessary to cleanse and normalize the data, and also check the correctness of the parameters specified in the profile – for example, the user's city can be clarified based on the analysis of his subscriptions, posts and statuses. In addition to the data that netizens clearly indicate in their profiles, one can supplement the information by analyzing posts, subscription groups and photos.

In addition, there is unstructured content that is posted on social media – for example; messages (tweets), comments, audio or video. Automatic text analysis is impossible without the use of linguistic technologies. The correct combination of linguistic and statistical approaches increases the quality of the analysis result and the level of its reliability.

However, it is worth noting that mining data from social networks can involve serious legal and ethical issues, many of which are not legally regulated. Privacy issues are at the center of discussion concerning this tool. Regulating the use of data of social networks is necessary to protect freedom of expression among users of social networks. Companies using data of social networks often have their own views on how they will apply it. A striking example is the situation when Cambridge Analytica obtained access to the personal data of 87 million users of the social network Facebook without their knowledge in order to influence voters during the 2016 US presidential election [1]. Its data mining methods were contrary to Facebook policy. However, upon learning the hack, Facebook did not take serious legal action, which led to a scandal and the payment of a \$ 5 billion fine for violating privacy.

2. Methods for analyzing data in social networks. Data mining allows automatically, based on a large amount of accumulated data, generating hypotheses that can be verified by other analysis tools. It is a computational process of identifying patterns or correlations in large relational databases using methods at the intersection of artificial intelligence, machine learning, statistics and database systems [9]. When analyzing 66 scientific publications [10] (filtered out of 1187) on this topic, the authors identified 19 data mining methods that have been used by researchers in the area of social networks over the past few years. Table 1 includes the detailed information on the frequency of occurrence of descriptions of data mining methods that have been encountered in the analyzed articles.

Table 1 – Data Mining Methods Described in the Analyzed Publications and Their Frequency of Occurrence

Method	Frequencies of Occurrence
AdaBoost	2
Artificial Neural Network (ANN)	8
Apriori	1
Bayesian Networks (BN)	26
Decision Trees (DT)	11
Density Based Algorithm (DBA)	3
Fuzzy Logic	1
Genetic Algorithm (GA)	1
Hierarchical Clustering (HC)	2
K Means	6
k of Nearest Neighbors (k NN)	9
Linear Discriminant Analysis (LDA)	9
Linear Regression (Lin R)	1
Logistic Regression (LR)	4
Markov Queueing Network	1
Maximum Entropy (ME)	2
New Methods	1
Support Vector Machines (SVM)	29
Wrapper	1

The diagram (Fig.3) shows that the most frequently used methods in the field of social network analysis are (51% of analyzed articles) [10]: Support Vector Machines (SVM): it is considered an accurate classifier; resistant to noise; Bayesian Networks (BN): they allow improving classification by removing irrelevant features; they have good performance and low computing time; Decision Trees (DT): they give an accurate result; take up less memory; it takes less time to create a model; they have a short search time.

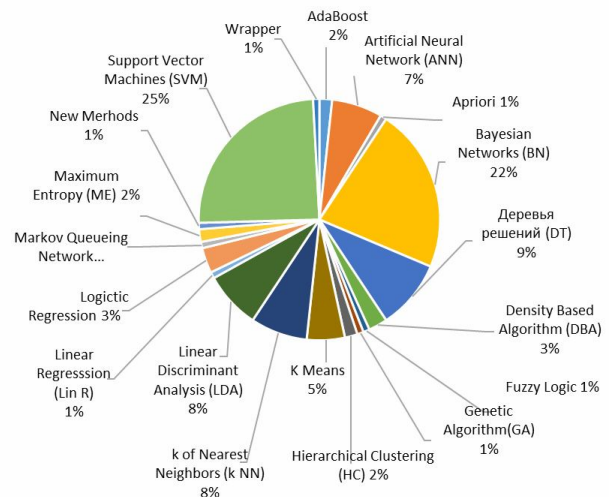


Fig. 3. Methods in the field of social network

The techniques that had a low frequency of occurrence, as each article was mainly devoted to its new method, was not taken into account.

Summarizing the data obtained, it can be carried out the following classification of data mining methods in social networks (for methods, the frequency of which was 3% and more) (Table 2).

The table shows that these methods were mainly used to analyze content, detect spam, assess users' preferences, detect inaccurate information, identify influential users, analyze users' characteristics, and only in some situations the methods were used for forecasting purposes (finance, medicine).

When working [10], the six areas of human activity were also identified, in which various research methods were used to analyze the flow of large data sets: business and management (BM); education (EDU); finance (FIN); government and the public (GP); medicine and health (MH); social networks (SN).

Fig. 4 shows that the most active areas that are used for data mining are: social networks, business and management accounting for 79%. The data analysis of social networks remains the most requested area of research. And recently, with an increase in the number of serious terrorist incidents in Western Europe and North America, the data analysis in social networks is aimed at identifying hate speech and predicting the reaction of users of social networks to these events.

Also, the nine active research tasks were identified, for the solution of which the methods of data mining are used [10]: biometric; content analysis; cybersecurity; disease awareness; geolocation; quality improvement; risk management.

Table 2 – Classification Data Mining Methods

Parameters \ Methods	Artificial Neural Network (ANN)	Bayesian Networks (BN)	Decision Trees (DT)	Density Based Algorithm (DBA)	K Means	k of Nearest Neighbors (k NN)	Linear Discriminant Analysis (LDA)	Logistic Regression (LR)	Support Vector Machines (SVM)
Completing the task: classification; clustering	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Approach to learning mathematical models: cybernetic; statistical	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Solving forecasting problems	+	+	+			+		+	+
Social network content analysis	+	+	+		+		+	+	+
Analysis of characteristics of social network users		+		+	+	+			+
Spam filtering		+			+				+
Identifying the influential user	+								+

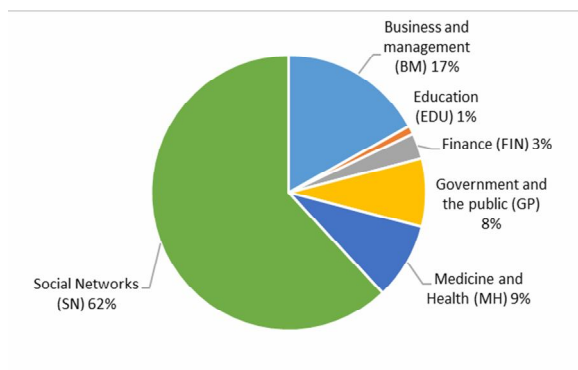


Fig. 4. Areas of Studying

Data mining methods are the process of extracting hidden knowledge from data. This can be done in a variety of ways such as decision trees, artificial neural network, Bayesian networks, k-NN, K-Means and SVM as machine learning methods. Also, statistical methods in some cases are considered as non-machine learning methods that are used to detect patterns [10-26]. As mentioned in [11], “statistical methods are data-driven and are used to discover patterns and build predictive models”. Hence, machine learning and non-machine learning data mining methods such as traditional quantitative methods in statistics complement one another in data mining.

Conclusions

Based on the above, the following conclusions can be drawn: common data mining methods used in social networks are Support Vector Machines (SVM), Bayesian networks (BN) and Decision Trees (DT). SVM and BN are the most recommended methods for analyzing social networks, which are used and described in scientific articles [10]. Data mining methods have both advantages and disadvantages, and this makes the choice of certain methods dependent on the type of informative data required and can be quite a difficult task taking into account that the data transfer speed or data arrival is enormous and the dynamic nature of the data is also unpredictable.

In the area of social networks, more in-depth research is still needed that takes into account the precise application of data mining methods in the academic and industrial sectors. A careful study of the literature written in this area shows that a significant number of studies have used methods that solve segmentation problems, and to a lesser extent the methods that solve forecasting problems. Obviously, research in the area of social networks must include two main factors: sufficiently accurate and complete analyzed input data and the corresponding mining analysis to obtain predictive results.

REFERENCES

1. Carole Cadwalladr & Emma Graham-Harrison, Revealed: 50 Million Facebook Profiles Harvested for Cambridge Analytica in Major Data Breach, GUARDIAN (Mar. 3, 2018), <https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/cambridge-analytica-facebook...>
2. Gagliardone I., Gal, D., Alves, T. and Martinez, G.: Countering Online Hate Speech. UNESCO, Paris, France, 2015.
3. A.L. Kavanaugh, E. a. Fox, S.D. Sheetz, S. Yang, L.T. Li, D.J. Shoemaker, et al., Social media use by government: From the routine to the critical, Gov. Inf.Q.29, 2012. – P. 480-491.
4. H. Chen, R.H.L. Chiang, V.C. Storey, Business Intelligence and Analytics: From Big Data To Big Impact, Mis Q. 36, 2012.– P. 1165-1188.
5. Romanenkov, Yu. Formation of prognostic software support strategic decision-making in an organization [Text] / Yu. Romanenkov, V. Vartanian //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 2, No. 9 (80). – PP. 25-34 (DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66306).
6. Romanenkov, Yu. Complexification methods of interval forecast estimates in the problems on short-term prediction / Yu. Romanenkov, M. Danova, V. Kashcheyeva, O. Bugaienko, M. Volk, M. Karminska-Belobrova, O. Lobach // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 3, No. 3 (93). – PP. 50-58 (DOI: 10.15587/1729-4061.2018.131939).

7. Romanenkov, Yu. Algorithmic Support for Auto-modes of adaptive short-term Forecasting in predictive Analytics Systems / Yu. Romanenkov, Yu. Pron-chakov, T. Zieiniiev // Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference on «Computer Science and Information Technologies» (CSIT 2020). Volume II: Main Conference. Zbarazh-Lviv, Ukraine, 23-26 September, 2020. – P. 230-233.
8. Барсегян А.А. Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
9. Hemlata Sahu: A Brief Overview on Data Mining Survey, International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) Volume 1, 2011. – P. 114-121.
10. MohammadNoor Injadat, Fadi Salo, Ali Bou Nassif: Data mining techniques in social media: A survey. *Neurocomputing*, Volume 214, 654-670 (2016).
11. S.Neelamegam: Classification algorithm in Data mining: An Overview, International Journal of P2P Network Trends and Technology (IJPTT), Volume 4, 2013. P.369-374.
12. Nechausov A., Mamusuĭ I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
13. Mozhaiev M., Kuchuk N., Usatenko M. (2019) The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
14. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
15. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук // Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
16. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
17. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
18. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
19. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
20. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святы вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
21. Кучук Г. А., Можаяв О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181 - 188.
22. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>
23. Коваленко А. А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 180-184.
24. Raj Kumar: Classification Algorithms for Data Mining: A Surve, International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJET) Vol. 1, Issue 2, 2012.– P.7-14.
25. Sagar S. Nikam: A Comparative Study of Classification Techniques in Data Mining Algorithms, Oriental journal of computer science & technology, Vol. 8, No. (1), 2015. – 13-19.
26. Nesma Settouti, Mohammed E, Amine Bechar and Mohammed Amine Chikh: Statistical Comparisons of the Top 10 Algorithms in Data Mining for Classification Task, International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, Vol. 4, No.1, 2016. – P.46-51.

Received (Надійшла) 22.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Дослідження пріоритетних напрямів в області інтелектуального аналізу даних

І. В. Рубан, І. В. Льїна, М. О. Можаяв

Анотація. В епоху глобальної інформатизації соціальні мережі набувають величезного значення для отримання різної інформації користувачами мереж. Але необхідно враховувати, що соціальні мережі такі як Facebook, Twitter, instagram містять мільярди необроблених неструктурованих даних, обробка яких дійсно є досить складним завданням для дослідження. Інтелектуальний аналіз даних дозволяє отримати поточну інформацію з великої кількості наборів даних, структурувати, і після проведеного аналізу отримати знання шляхом виявлення закономірностей між даними, що надає можливість прогнозування змін в мережі, які сталися на основі взаємодій інформаційних потоків та подій. Ця інформація застосовується в різних областях, таких як бізнес, освіта, медицина, кібербезпека і т.д. Область інтелектуального аналізу даних досягла величезних успіхів з моменту свого зародження до нинішнього рівня, але Data Mining продовжує стикається з багатьма проблемами, особливо при обробці даних соціальних мереж. Ця стаття присвячена аналізу різних методів інтелектуального аналізу даних, які використовуються для аналізу соціальних мереж, а також вивчення найбільш пріоритетних напрямів в області інтелектуального аналізу на основі проведеного огляду різних досліджень, а також фокусує увагу на області інтелектуального аналізу даних в соціальних мережах, що буде використано в подальших дослідженнях.

Ключові слова: Data Mining, соціальні мережі, вилучення даних, методи і алгоритми Data Mining.

І. П. Саланда¹, Н. В. Бабій¹, О. А. Фурман¹, Ю. Є. Мельничук²

¹ Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія, Кременець, Україна

² Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ ГЕТЕРОГЕННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ВВЕДЕННЯ КОРИГУВАЛЬНИХ ЦИКЛІВ

Анотація. В роботі поставлено завдання синтезу структури гетерогенної інформаційної мережі за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість проектування і експлуатації мережі. В якості показника функціональної стійкості вибрано ймовірність зв'язності мережі. Дане завдання є складним при нерівнонадійних ребрах, однак у випадку рівнонадійних ребер знайдено точні спільні рішення для деяких класів графів і спільні властивості оптимальних структур в цілому. Така постановка завдання в практичному розумінні інтерпретується як намагання отримати структуру мережі, яка б за рахунок закладеної надмірності могла б максимально чинити опір зовнішнім та внутрішнім дестабілізуючим факторам. Основна увага надається оптимально-зв'язним циклічним структурам, тобто структурам, що містить чітко виражені цикли. Розглядається питання оптимального додавання коригувальних циклів до циклічних графів з метою підвищення їх ймовірності зв'язності. Доведено оптимальність розбиття з'єднаних циклів на ланцюги рівної (з точністю до одиниці) довжини. В процесі дослідження розроблено методику синтезу гетерогенної інформаційної мережі на основі введення коригувальних циклів. Вказана методика дозволяє забезпечувати виконання основної функції мережі протягом заданого проміжку часу в момент перебування активної структури. Це дозволяє відновити працездатність програмних компонент в умовах гетерогенних комп'ютерних ресурсів. Вартість капіталовкладень на побудову та експлуатацію мережі може бути обрана проектувальником на будь-якому рівні, що не перевищує виділених обсягів інвестицій. В результаті математичного моделювання отримано графіки поліномів зв'язності гетерогенних мереж, які підтверджують справедливості розробленої методики синтезу гетерогенних інформаційних мереж на основі введення коригувальних циклів.

Ключові слова: інформаційна мережа, зв'язність, методи оптимізації, надмірність, гіпермережа, функціональна стійкість.

Вступ

Головною вимогою до інформаційних гетерогенних мереж є виконання мережею її основної функції – забезпечення абонентів мережі потенційною можливістю доступу до розподілених інформаційних ресурсів. Всі інші вимоги пов'язані з якістю виконання цього основного завдання. У цьому плані особливий інтерес становить побудова функціонально-стійких мереж, які дозволяють вирішувати поставлені завдання під впливом дестабілізуючих факторів [1, 2]. Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням в складній технічній системі різних уже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парировання наслідків позаштатних ситуацій.

Завдання синтезу оптимальних структур гіпермереж допускають застосування традиційних оптимізаційних методів: лінійного і динамічного програмування [3, 4]. Оскільки ці методи погано враховують структурні особливості виникаючих завдань, в більшості випадків вони виявляються недостатньо ефективними, і тому в даній роботі не розглядаються, а основна увага приділяється методам теорії графів і споріднених дисциплін [5, 6].

Аналіз публікацій

Підвищення ефективності функціонування інформаційних мереж є важливим науковим завданням. Вирішенню цього завдання присвячено багато наукових робіт. Однак, на наш погляд, основна увага в них приділяється вирішенню часткових завдань, а саме – побудови резервованих інформаційно-

керуючих мереж [7- 9], відмовостійких обчислювальних мереж [10, 11], адаптивних систем управління [12, 13], оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку [14-16].

Існуючі методи оптимізації мереж, які базуються на підвищенні зв'язності гіпермережі за рахунок розпаралелювання ребер вторинної мережі не завжди виявляються придатними, так як структура вторинної мережі залишається незмінною.

Тому в даній роботі поставлено завдання синтезу структури РІМ за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість проектування і експлуатації мережі:

$$f(P_{зв.}) \rightarrow \max \\ \varphi(S) \leq \varphi_{зад.}(S),$$

де $P_{зв.}$ – ймовірність зв'язності мережі, $\varphi(S)$ – вартість проектування та експлуатації мережі S [17].

Дана постановка відповідає логіці побудови мереж спеціального призначення, відповідає сучасним умовам і носить однокритеріальний характер, що дозволяє досягти потрібного результату. Результатом вирішення даного завдання буде множина ліній зв'язку між вузлами комутації гетерогенної інформаційної мережі.

Метою статті є розробка методу синтезу оптимальної структури інформаційної мережі за критерієм максимуму функціональної стійкості, що базується на введенні коригувальних циклів.

Основна частина

Розглянемо питання оптимального з'єднання незалежних циклів в граф більшої розмірності: потрібно так з'єднати цикли коригувальними циклами,

щоб результуючий граф був циклом та оптимально-зв'язним.

Нехай маємо k циклів довжини n_1, n_2, \dots, n_k з'єднаних коригувальним циклом таким чином, що існує єдине ребро, яке з'єднує перший цикл з другим, єдине ребро, що з'єднує другий цикл з третім і так далі, і єдине ребро, яке з'єднує k -й цикл з першим (рис. 1). Дослідимо питання оптимального способу розташування ребер, що входять в коригувальний цикл.

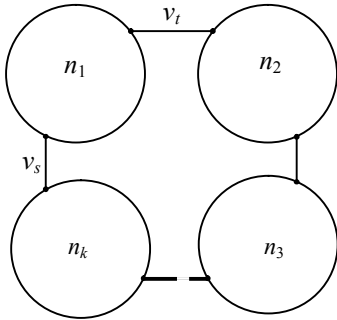


Рис. 1. Введення коригувального циклу при зв'язуванні структури k циклів

Виберемо довільний цикл із з'єднаних. Для зручності опустимо індекси: нехай довжина його дорівнює n і вершини, інцидентні ребрам коригувального циклу, позначимо v_s і v_t , ділять цикл на ланцюги довжиною w і $u=n-w$.

Скористаємося методом послідовно-паралельної редукції. Ребро, яке відповідає ланцюгу довжини w буде, матиме ймовірність наявності

$$p_1 = \frac{1}{w/p - w + 1} = \frac{p}{w - (w-1)p},$$

а ребро, відповідне ланцюгу довжини u , буде мати ймовірність наявності

$$p_2 = \frac{p}{u - (u-1)p} = \frac{p}{n - w - (n-w-1)p}.$$

Далі замінюємо пару одержані кратних ребер еквівалентним ребром з ймовірністю

$$\begin{aligned} p^* &= p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2 = \frac{p}{w - (w-1)p} + \\ &+ \frac{p}{n - w - (n-w-1)p} - \frac{p}{w - (w-1)p} \times \\ &\times \frac{p}{n - w - (n-w-1)p} = \\ &= \frac{np - (n-1)p^2}{[w - (w-1)p][n - w - (n-w-1)p]}. \end{aligned}$$

Отриманий граф позначимо як H , а отримане ребро – e_{st} . При цьому величина коефіцієнта, на який потрібно помножити ймовірність зв'язності отриманого графа для отримання ймовірності зв'язності вихідного, дорівнює

$$\begin{aligned} r &= p^w \left(\frac{w}{p} - w + 1\right) \cdot p^{n-w} \left(\frac{n-w}{p} - n + w + 1\right) = \\ &= p^{n-2} [w - (w-1)p][n - w - (n-w-1)p]. \end{aligned} \quad (1)$$

Далі проведемо крок розгалуження за формулою Мура-Шеннона по цьому ребру, як показано на рис. 2 отримаємо

$$\begin{aligned} P_{3\phi.}(G) &= rP_{3\phi.}(H) = \\ &= rp^*P_{3\phi.}(H^*(e_{st})) + r(1-p^*)P_{3\phi.}(H \setminus \{e_{st}\}). \end{aligned}$$

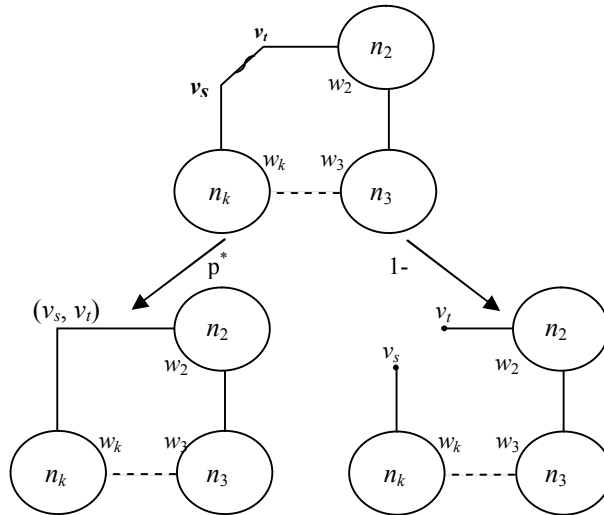


Рис. 2. Розгалуження по ребру e_{st}

Графи $H^*(e_{st})$ і $H \setminus \{e_{st}\}$, отримані в результаті розгалуження, не залежать від розбиття розглянутого циклу на ланцюги. Порівняємо ймовірності зв'язності, отримані в останній рівності для випадку ділення циклу навпіл і на різні частини.

Позначимо відповідні ймовірності наявності дозвольного ребра і коефіцієнти як p^* і r^* , і p' і r' ,

відповідно. Для стислості позначимо $P_{3\phi.}(H^*(e_{st}))$ як A і $(H \setminus \{e_{st}\})$ як B .

Маємо різницю

$$\begin{aligned} P^*(G) - P'(G) &= r^* p^* A + r^* (1-p^*) B - r' p' A - \\ &- r' (1-p') B = (r^* p^* - r' p') (A - B) + (r^* - r') B. \end{aligned}$$

Неважко бачити, що добуток коефіцієнта на ймовірність наявності дозвільного ребра ($r \cdot p^*$) в нашому випадку завжди дорівнює $np^{n-1} - (n-1)p^n$, тому перший доданок в попередній рівності завжди дорівнює нулю. Відповідно, знак визначається другим доданком, тобто достатньо розглядати значення коефіцієнтів. Маємо два випадки: парну і непарну довжини циклу.

- 1) $n=2k$. У передбачуваному оптимальному випадку $w=n-w=k$. Для порівняння беремо $w=k-d$, $1 < d < k$. З (*) отримаємо:

$$\begin{aligned} r^* &= p^{n-2}(k-kp+p)(k-kp+p) = \\ &= p^{n-2}(k-kp+p)^2; \\ r' &= p^{n-2} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\times (k+d-kp-dp+p)(k-d-kp+dp+p) = \\ &= p^{n-2} \left((k-kp+p)^2 - (d-dp)^2 \right). \end{aligned}$$

Різниця складає

$$\begin{aligned} \delta &= p^{n-2}(k-kp+p)^2 - p^{n-2} \times \\ &\times \left((k-kp+p)^2 + (d-dp)^2 \right) = \\ &= p^{n-2}(d-dp)^2 > 0. \end{aligned}$$

- 2) $n=2k+1$. В передбачуваному оптимальному випадку $w=k$, $n-w=k+1$. Для порівняння візьмемо $w=k+d$, $2 \leq d < k$.

З (1) отримаємо наступні значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} r^* &= p^{n-2}(k-kp+p)(k+1-kp) = \\ &= p^{n-2}[(k-kp+p)^2 + (k-kp+p)(1-p)]; \\ r' &= p^{n-2}(k+d-kp-dp+p)(k+1-d-kp+dp) = \\ &= p^{n-2}[(k-kp+p) + (d-dp)][(k-kp+p) - \\ &\quad - (d-dp) + 1 - p]. \end{aligned}$$

Різниця складає

$$\begin{aligned} \delta &= p^{n-2}[(k-kp+p)^2 + (k-kp+p)(1-p)] - \\ &- p^{n-2}[(k-kp+p) + (d-dp)][(k-kp+p) - \\ &\quad - (d-dp) + 1 - p] = p^{n-2}d(1-p)^2(d-1) > 0. \end{aligned}$$

Застосовуючи ці міркування до всіх з'єднуваних циклів приходимо до висновку, що ймовірність зв'язності графа, який складається із з'єднання циклів єдиними ребрами коригувального циклу максимальна, коли вершини, інцидентні з'єднуваним ребрам, ділять цикли на ланцюги, довжина яких відрізняється не більше ніж на одиницю.

Методика синтезу структури гетерогенної інформаційної мережі шляхом введення коригувальних циклів для підвищення функціональної стійкості структури

При оптимальному з'єднанні k незалежних циклів в граф більшої розмірності, потрібно так

з'єднати цикли коригувальним циклом заданої довжини, щоб результуючий граф був максимально зв'язним, тобто задовольняв критерію максимуму функціональної стійкості.

Для цього необхідно послідовно вирішити такі завдання:

1. Вивести залежність $P_{ze}(p)$ – ймовірності зв'язності для вихідної структури.

2. Визначити вершини, які будуть інцидентні ребрам коригувального циклу. Визначити структурні параметри цих вершин – w_i та u_i – довжини ланцюгів, на які вказані вершини ділять i -тий зв'язувальний цикл.

3. Застосовуючи редукцію ланцюгів та формулу Мура-Шеннона визначити залежність $P_{ze}(p)$ для отриманої структури.

4. Визначити при яких значеннях w_i та u_i буде максимальний приріст ймовірності зв'язності. Для цього необхідно поділити k з'єднувальних цикли на ланцюги, довжини яких відрізняються не більше ніж на одиницю.

5. Визначити значення показника $P_{max}(p)$, що є найбільшим для введеного коригувального циклу.

6. Ввести коригувальний цикл між знайденими вершинами з параметрами w_i та u_i , $i=1, \dots, k$, які є оптимальними.

7. Зробити висновки про доцільність введення коригувального циклу.

Опис результатів, отриманих при проведенні імітаційного моделювання. В якості прикладу розглянемо приклад (рис. 3), який показує справедливості висновків про оптимальне з'єднання k кільцевих гетерогенних мереж коригувальним циклом з k коригувальними ребрами таким чином, щоб кінці цих ребер ділили з'єднані цикли навпіл.

Поліноми, що відповідають наведеним на рис. 3 варіантам з'єднання коригувальними циклами, мають вигляд:

$$\begin{aligned} P_a(p) &= p^{21} + 21(1-p)p^{20} + 189(1-p)^2 p^{19} + \\ &\quad + 864(1-p)^3 p^{18} + 1620(1-p)^4 p^{17}, \\ P_b(p) &= p^{21} + 21(1-p)p^{20} + 188(1-p)^2 p^{19} + \\ &\quad + 852(1-p)^3 p^{18} + 1584(1-p)^4 p^{17}, \\ P_c(p) &= p^{21} + 21(1-p)p^{20} + 177(1-p)^2 p^{19} + \\ &\quad + 720(1-p)^3 p^{18} + 1188(1-p)^4 p^{17}, \\ P_d(p) &= p^{21} + 21(1-p)p^{20} + 162(1-p)^2 p^{19} + \\ &\quad + 540(1-p)^3 p^{18} + 648(1-p)^4 p^{17}. \end{aligned}$$

На рис. 4 наведені графіки полінома зв'язності для оптимального (варіант а) і найгіршого (варіант г) випадків введення коригувальних циклів.

Максимальна різниця, що дорівнює 0.1072, досягається в точці

$$p=0.851.$$

Таким чином, експериментально досліджена справедливості розробленої методики синтезу гетерогенних інформаційних мереж на основі введення коригувальних циклів.

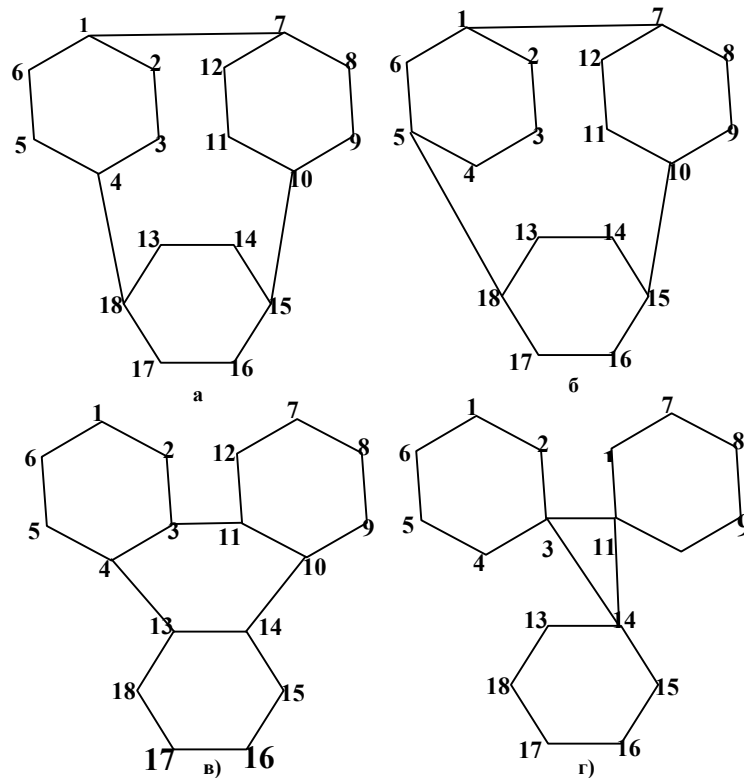


Рис. 3. Приклад з'єднання кільцевих гетерогенних мереж коригувальним циклом

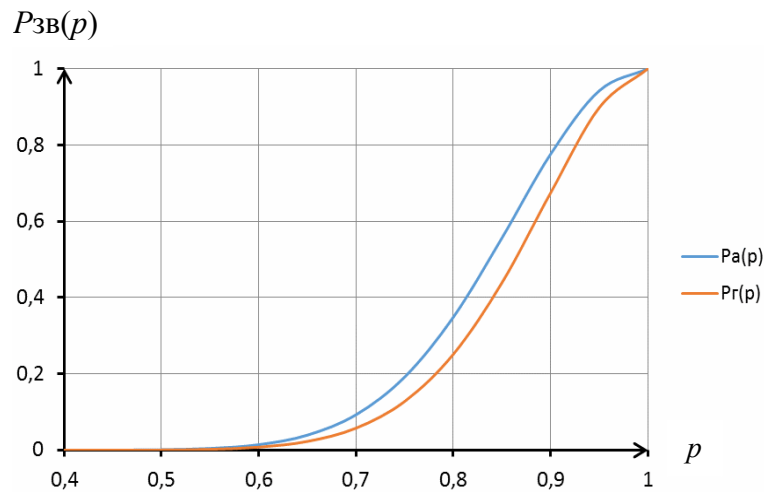


Рис. 4. Графіки поліномів зв'язності гетерогенних мереж а) та г) з рис. 3

Висновки

В роботі досліджено існуючі методи синтезу розгалужених інформаційних мереж шляхом введення коригувальних зв'язків та їх вплив на функціональну стійкість структури мережі. В результаті проведених досліджень вперше розроблено метод синтезу структури гетерогенної інформаційної мережі на основі введення коригувальних циклів. Да-

ний метод полягає в поділі циклічних мереж коригувальним циклом на ланцюги, довжини яких відрізняються не більше ніж на одиницю. В якості критерію оптимізації вибраний максимум функціональної стійкості мережі. Виходячи з особливостей парирування відмов і пошкоджень функціонально стійкими мережами, як показник функціональної стійкості обгрунтовано вибрана ймовірність зв'язності $P_{zv}(S)$ графа структури мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж. Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку». Полтава: ПНТУ, 2017. Вип. 1 (41). С. 122 – 126.

2. Sobchuk A.V., Sobchuk V.V., Barabash O.V., Liashenko I.O. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2019, No VII (23), Issue 193, p. 46 – 48.
3. Schneider, C., Barker, A., and Dobson, S. (2015) “A survey of self-healing systems frameworks.” *Software: Practice and Experience*, 45(10): 1375-1398. Print.
4. Собчук В.В., Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі. *Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи»*. Харків: НТУ «Харківський політехнічний інститут», 2019. Т. 3, № 2. С. 116 – 121.
5. Manzoor A., Rajput U, Phulpoto N, Abbas F, Rajput M. (2018) “Self-healing in Operating Systems.” *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol.18 No.5: 92-98. Print.
6. Саланда І.П., Барабаш О.В., Мусієнко А.П., Лукова-Чуйко Н.В. Математична модель структури розгалуженої інформаційної мережі 5 покоління (5G) на основі випадкових графів. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2017. Вип. 6 (46). С. 118 – 121.
7. Hudaib, AA., Fakhouri, HN., Al Adwan, FE., and Fakhouri, SN. (2017) “A Survey about Self-Healing Systems” (Desktop and Web Application). Vol.09 No.01: 71-88. Print.
8. Машков О.А., Косенко В.Р. Синтез функціонально-стійкої системи керування рухомим об'єктом із заданими динамічними властивостями. *Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, Київ, ІПМЕ НАН України*, 2011. Вип. 60. С. 186 – 214.
9. Одарушенко О.М. Оцінювання та забезпечення функційної безпеки при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2020. Вип. 3 (61). С. 90 – 93.
10. Wang, Z., & Wang, J. (2015) “Self-healing resilient distribution systems based on sectionalization into microgrids.” *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(6): 3139-3149 Print
11. Sobchuk A.V., Barabash O.V., Musienko A.P. Assessment methods of functional stability of wireless sensor networks. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. Київ, ДУТ, 2019. № 3 (64). С. 46 – 54.
12. Duarte, DP., Guaraldo, JC., Kagan, H., Nakata, BH., Pranskevicus, PC., Suematsu, AK., and Hoshina, MS. (2016) “Substation-based self-healing system with advanced features for control and monitoring of distribution systems.” In *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016 17th International Conference on 2016*, IEEE: 301-305. Print.
13. Собчук В.В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю. Аналіз використання ієрархічної структури для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління підприємством. *Науковий журнал «Телекомунікаційні та інформаційні технології»*. К.: ДУТ, 2018. № 4 (61). С. 53 – 61.
14. Собчук В.В., Кучук Н.Г., Лукова-Чуйко Н.В. Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвективної системи. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2019. Вип. 3 (55). С. 120 – 125.
15. Mozaheiev M., Kuchuk N., Usatenko M. The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
16. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
17. Скулиш М.А., Вольвач Є.О., Глоба Л.С. Система керування якістю обслуговування у складних гетерогенних телекомунікаційних системах. *Наукове періодичне видання «Системи управління, навігації та зв'язку»*. Полтава: ПНТУ, 2017. Вип. 6 (46). С. 158 – 162.

Received (Надійшла) 22.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Methods of synthesis of heterogeneous information networks based on the introduction of adjustment cycles

I. Salanda, N. Babiy, O. Furman, Yu. Melnychuk

Abstract. The paper sets the task of synthesizing the structure of a heterogeneous information network by the criterion of the maximum of the indicator of functional stability with restrictions on the cost of network design and operation. The probability of network connectivity is chosen as an indicator of functional stability. This problem is difficult for unequally reliable edges, but in the case of equally reliable edges, exact common solutions for some classes of graphs and common properties of optimal structures as a whole are found. Such a problem statement in the practical sense is interpreted as an attempt to obtain a network structure that would, due to the underlying redundancy, could maximally resist external and internal destabilizing factors. The main attention is paid to optimally connected cyclic structures, that is structures containing clearly expressed cycles. The question of optimal addition of correction cycles to cyclic graphs in order to increase their probability of connectivity is considered. The optimality of dividing the connected cycles into chains of equal (to the nearest one) length is proved. In the course of research, the technique of synthesis of a heterogeneous information network on the basis of introduction of corrective cycles is developed. This technique allows you to perform the main function of the network for a specified period of time at the time of restructuring the active structure. This allows you to restore the functionality of software components in terms of heterogeneous computer resources. The cost of investment in the construction and operation of the network can be selected by the designer at any level that does not exceed the allocated amount of investment. As a result of mathematical modeling, graphs of polynomials of connectivity of heterogeneous networks are obtained, which confirm the validity of the developed method of synthesis of heterogeneous information networks based on the introduction of correction cycles.

Keywords: information network, connectivity, optimization methods, redundancy, hypernetwork, functional stability.

O. Tymochko¹, V. Larin¹, A. Liuti¹, A. Abdalla²

¹ Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

² Kirovograd Aircraft Academy of the National Aviation University, Kropivnitsky, Ukraine

METHOD OF CODING PREDICTABLE FRAMES WITH THE ACCOUNT OF MANAGEMENT MECHANISMS FOR IMPROVING THE QUALITY OF VIDEO INFORMATION'S SERVICE

Abstract. The main difficulties in working with video are large volumes of transmitted information and sensitivity to delays in the video information transmission. Therefore, in order to eliminate the maximum redundancy amount in the formation of the video sequence, 3 types of frames are used: I, P and B which form a frame group. For a typical low complexity video sequence, the weight of each P-frame in the stream is approximately three times smaller than the I-frame weight. However, taking into account the number of P-frames in the group, they make the main contribution to the total video data amount. Therefore, the possibility of upgrading coding methods for P-frames is considered on preliminary blocks' type identification with the subsequent formation of block code structures. The differential representation of the frame, by using the filtering threshold, makes it possible to identify stationary background regions (stationary component) and regions containing dynamic objects (dynamic component).

Keywords: image, redundancy, coding, quantization, matrix, data.

Introduction

Problem statement. It has been analyzed the predicted frames processing in the MPEG standard and its drawbacks has found during compressing video data. A method for encoding P-frames with the ability to select the type of blocks processing has been developed, where the structural redundancy estimation of the block is used as a decision rule [1-3]. Thus, it has been introduced an additional possibility to control the video bit rate by changing the number of I- and P-type blocks. The method of coding and reconstructing predicted frames has been improved by using block coding, which unlike Huffman codes has more noise immunity and less bit and time costs when processing data blocks.

Research publications. Delays in the processing and transmission of objective video monitoring information lead to the following fact. The temporary standards for the transportation duration by rail are not maintained both under normal conditions and during the liquidation of emergency situations. This leads to delays in the flow of goods on average by 10-15%. Also, this leads to untimely tasks fulfillment for managing rail transport and long delays in assessing the situation and making decisions.

The research aims and objectives. The aim of article is to develop method of coding predictable frames with the account of management mechanisms for improving the quality of video information's service.

The objectives of article are justification of the requirements for video data compression systems in the computer systems and concepts construction on the formation of stationary background's dynamic images compressed representation.

Research bases

Methods with loss of quality provide a greater compression level than methods without loss of quality. However, methods without quality loss, as well as methods with quality loss, must be used to process and transmit video information in the computer systems [4].

This need is explained by the following reasons:

1) for some practical tasks of railway transport management, it is required to provide high quality images. At the same time, methods with quality loss, based on the reduction of psychovisual redundancy, can not guarantee to ensure high quality images;

2) wide use of methods without quality loss in various image formats (TIFF, GIF, BMP, ART, etc.). At the same time, these formats are characterized by an increase in the compressed volume for realistic images heavily saturated with small details;

3) compression methods with quality loss have a longer data encoding time than methods without (dozens of times), and in some cases this leads to a loss and in the total time for processing and data transfer (FMS method);

4) developed a group of methods aimed primarily at compressing color coordinates, while arrays of series lengths are transmitted without additional coding, which reduces the image's degree compression and increases the transmission time on the communication channel;

5) in many complex compression methods, the length methods of the series are used as a subsystem for compressing the service information. Therefore, for further increase the compression ratio, it is required to compress the length of the series [5-7].

At the same time, existing methods without quality loss do not provide the transfer of images in the computer systems in real time. This is due to the following shortcomings of the length methods of the series and the LZW method:

1. The presence of stationary background regions is not taken into account.

2. For the dynamic component [8-10]:

- the amount of the simplest structural redundancy decreases (the lengths of series of the same elements decrease) for realistic images, and consequently, the effectiveness of the RLE and LZW methods decreases;

- there is a problem of the color coordinates processing of the identical images series.

Basing on the analysis of known compression methods, it can be concluded that there is a need to use

methods for processing images in the computer systems without quality loss. At the same time, they do not allow to process and transmit video data in real time.

It will be analyzed the directions of developing compression methods without quality loss in order to improve the processing, transmission and video data's noise immunity in the presence of stationary background images.

Reducing the total processing time and transfer information can be done due to further improvement of existing compression methods [11-18]. From the analysis of known compression methods, there follow such variants of their improvement:

1. Using processing, taking into account the stationary background presence of images. Here are the options:

- identifying motion compensation;
- using three-dimensional discrete cosine transformations.

However, this is a computationally complex processing process.

2. Using additional processing at the individual frames level, i.e. to exclude intraframe redundancy. Here the following options are possible:

1) using the series' lengths encoding. This, on the one hand, makes it possible to improve the identifying structural patterns efficiency. On the other hand, the coding efficiency of the series lengths is sharply reduced in the case of multi-degradation data processing with a high brightness difference probability.

2) as a result of image compression, by using DDS and LZW methods, structural and statistical redundancy is reduced. Therefore, the additional use of methods that reduce statistical redundancy will not significantly affect on the compression ratio. Existing element-wise coding methods, basically, exclude statistical redundancy;

3) the series lengths carry basic information about the shapes and sizes of the image objects, which is crucial for correct image recognition. Even small distortions in the lengths' values of the series lead to a partial or complete image destruction of the objects. Therefore, it is not recommended to use existing methods, which are based on the reduction of psychovisual redundancy to compress the series lengths;

4) increasing the LZW methods effectiveness is associated with an additional increase in the number of operations for coding, spent on:

- statistical characteristics calculation of image elements in each "sliding window";
- large window sizes lead to an increase in the search time of elements in the window.

In addition, the representation of the series' lengths, by uneven codes, slightly increases the compression ratio (not more than 1.5 times). But at the same time additional difficulties appear that make it difficult to implement the compression method in practice:

- additional operations are required to calculate the statistical characteristics of each block (of the order $O(N \log_2 N)$);
- it is necessary to transmit data on statistical characteristics;

-if an error in the codeword, it is impossible to restore the whole message.

It means, that the using of existing methods, which exclude probability-statistical and psychovisual redundancy, to further enhance the effectiveness of methods without quality loss in the process of intraframe processing is inexpedient [11].

Therefore, it came an interest for investigate the possibility of further increasing the compression ratio of stationary background processing images, which are based on the stationary component detection of the frame in the substrate, which will allow:

- to identify the area of stationarity relative to the previous frame;
- to form a binary mask of dynamic areas and thereby provide the potential for reducing structural redundancy as a result of identifying the lengths of binary series;
- to reduce the dimension of the array containing elements of dynamic objects.

Thus, it is proposed to construct a method for compressing images of a stationary background, which is based on the following mechanisms:

1) an identifying area of stationary background, which will allow to take into account the presence of interframe redundancy between neighboring frames;

2) a separated processing of the allocated stationary and dynamic components, using the operation of imposing a binary mask.

Concepts construction on the formation of stationary background's dynamic images compressed representation. The frame of the differential representation is formed on the current and previous frames in the conditions of the video information's stationary formation [12, 19-24]. This process is given by the expression:

$$e_{i,j}^{(\xi+1)} = a_{i,j}^{(\xi)} - a_{i,j}^{(\xi+1)},$$

Here are: $a_{i,j}^{(\xi)}$ - (i; j) -th element of the previous frame;

$e_{i,j}^{(\xi+1)}$ - (i; j) -th element of the current differential-

represented frame; $a_{i,j}^{(\xi+1)}$ - (i; j) -th element of the current frame in the video sequence.

The format of the differentially represented frame allows to distinguish two components, that describe the stationary background and dynamic objects. In order to obtain a stationary background, it is necessary to determine the positions of the elements, which belong to the dynamic component. In this case, it is necessary to take into account that the frame is formed in conditions, when the illumination of railway trains in motion changes, the video camera vibrates, as a result of fluctuations during its fixing, distortions are detected during conversion of the analog signal to digital form [14, 25-28]. In order to take this into account in the process of forming the stationary component of the differential-represented frame, it is proposed to use the filtering threshold ΔP . The filtering essence is to identify the elements of the differential-represented frame, which contain impulsive interference. This will determine whether the element refers to a stationary component or

to a dynamic component. To reduce the number of operations for processing, it is suggested to use scalar threshold filtering. Scalar threshold filtering is performed according to the rule, where each processed element e_{ij} is compared with the threshold value ΔP . If the value of the element is less than the threshold value, i.e. $e_{ij} \leq \Delta P$.

Then this element is considered an element of the stationary component $e_{ij} \in I_{st}$, and $e_{ij} = 0$.

Conversely, if the value of the element exceeds the threshold value $e_{ij} > \Delta P$, then this element belongs to the dynamic component $e_{ij} \in I_d$.

The filtered structure of the differential-represented frame allows you to extract dynamic and stationary components from it [29, 30].

Taking into account the separate processing for the differential-represented frame, two components are formed (Fig. 1).

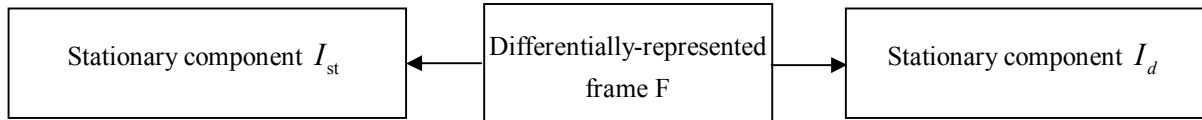


Fig. 1. The scheme for the formation of two differential-represented frame components

The filtered representation of the differential-represented frame is given by the following system of expressions:

$$e'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \rightarrow |e_{ij}| \leq \Delta P; \\ e_{i,j} - \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} > 0; \\ e_{i,j} + \Delta P, & |e_{ij}| > \Delta P \ \& \ e_{ij} < 0. \end{cases}$$

Thus, the differential representation of the frame, by using the filtering threshold, makes it possible to identify stationary background regions (stationary component) and regions containing dynamic objects (dynamic component).

Conclusions

1. It has been developed the requirements for video data compression systems in the computer systems.

Proposed to construct a method for compressing images of a stationary background, which is based on the following mechanisms:

- 1) an identifying area of stationary background, which will allow to take into account the presence of interframe redundancy between neighboring frames;
- 2) a separated processing of the allocated stationary and dynamic components, using the operation of imposing a binary mask.

2. It has been developed the concepts on the formation of stationary background's dynamic images compressed representation.

The differential representation of the frame, by using the filtering threshold, makes it possible to identify stationary background regions (stationary component) and regions containing dynamic objects (dynamic component).

REFERENCES

1. Piramanayagam, S., Saber, E., Cahill, N.D., Messinger, D. Shot boundary detection and label propagation for spatio-temporal video segmentation (2015). Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9405.
2. Mashtalir, S., Mikhnova, O., Stolbovyi, M. Sequence Matching for Content-Based Video Retrieval (2018) Proceedings of the 2018 IEEE 2nd International Conference on Data Stream Mining and Processing, DSMP 2018, art. no. 8478597, pp. 549-553.
3. Ruban, I., Smelyakov, K., Vitalii, M., Dmitry, P., Bolohova, N. Method of neural network recognition of ground-based air objects (2018) Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 589-592.
4. Development of a method for the experimental estimation of multimedia data flow rate in a computer network. Sumtsov, D. Osiievskiy, S. Lebediev, V. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 2, Issue 2-92, 2018, Pages 56-64.
5. Hubbard T., Bor R. Aviation Mental Health: Psychological Implications for Air Transportation. London : Routledge, 2016. 376 p.
6. Network traffic measurement and analysis / Mistry D., Modi P., Deokule K., Patel A., Patki H., Abuzaghlh O. // 2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT).
7. The Problem of Big Data Transmission in the Mobile "Multi-Copter – Sensor Network" System / Tkachov V. M., Tokariev V. V., Radchenko V. O., Lebediev V. O. // Control, Navigation and Communication Systems. 2017. Issue 2. P. 154–157.
8. Mistry, D., Modi, P., Deokule, K., Patel, A., Patki, H., Abuzaghlh, O. (2016). Network traffic measurement and analysis. 2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT).
9. Tkachov, V. M., Tokariev, V. V., Radchenko, V. O., Lebediev, V. O. (2017). The Problem of Big Data Transmission in the Mobile "Multi-Copter – Sensor Network" System. Control, Navigation and Communication Systems, 2, 154–157.
10. Wang, S., Zhang, X., Liu, X., Zhang, J., Ma, S., Gao, W. Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression. (2017) IEEE Transactions on Multimedia, 19 (3), art. no. 7736114, pp. 660-667.
11. M.Pavlenko, A.Timochko, N.Korolyuk, M.Gusak. Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace. Automatic Control and Computer Sciences Volume 48, Issue 5, 2014, Pages 257-263.
12. Kharchenko V., Mukhina M. Correlation-extreme visual navigation of unmanned aircraft systems based on speed-up robust features //Aviation. 2014. Vol. 18, Issue 2. P. 80–85. doi: <https://doi.org/10.3846/16487788.2014.926645>.
13. Gonzales R.C. Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. – Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2002. – 779p.

14. Ericsson K. A., Charness N., Feltovich P. J., Hoffman R. R. The Cambridge handbook of expertise and expert performance. New York, NY: Cambridge University Press, 2018. 918 p.
15. V. Larin, N. Yeromina, S. Petrov, A. Tantsiura, M. Iasechko. Formation of reference images and decision function in radiometric correlation-extremal navigation systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 4, Issue 9, 2018, Pages 27-35.
16. Кучук, Г.А. Моделювання трафіка мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі [Текст] / Г.А. Кучук, І.Г. Кіріллово, А.А. Пашнев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50 – 59.
17. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
18. Nechausov A., Mamusuć I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
19. Mozhaiev M., Kuchuk N., Usatenko M. (2019) The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
20. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
21. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук // Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
22. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
23. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
24. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
25. Кучук, Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі [Текст] / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасєва, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
26. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
27. Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптикоелектронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // Системи обробки інформації, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.
28. Коваленко А. А. Оптимальное управление трафиком мультисервисной сети на основе методов последовательного улучшения решений / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3(47). – С. 59-63.
29. Qassim, H., Verma, A., Feinzimer, D. (2018). Compressed residual-VGG16 CNN model for big data places image recognition. 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). doi: <https://doi.org/10.1109/ccwc.2018.8301729>.
30. V. Larin, D. Yerema, Y. Bolotska. The reasoning of necessity enhancing video privacy in conditions of providing the quality of the video information service provided in virtual infocommunication systems. *Sistemi ozbroennya i viyskova tehnika* 2(35). – Н. HNUPS. 2019, S. 158-162.

Received (Надійшла) 24.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 04.11.2020

Метод кодування прогнозних кадрів з врахуванням механізмів управління для поліпшення якості надання відеоінформаційних послуг

О. І. Тимочко, В. В. Ларін, А. В. Лютий, Ахмед Абдалла

Анотація. У статті показано, що основні труднощі в роботі з відео - це великі обсяги переданої інформації та чутливість до затримок при передачі відеоінформації. Отже, щоб усунути максимальну величину надмірності при формуванні відеопослідовності, використовуються 3 типи кадрів: I, P та B, які утворюють групу кадрів. Для типової відеопослідовності низької складності вага кожного P-кадру в потоці приблизно втричі менша, ніж вага I-кадру. Однак, враховуючи кількість P-кадрів у групі, вони вносять основний внесок у загальний обсяг відеоданих. Тому розглядається можливість оновлення методів кодування для P-кадрів при ідентифікації попереднього типу блоків з подальшим формуванням структур блокових кодів. Розроблено вимоги до систем компресії відеоданих в комп'ютерних системах. Запропоновано побудувати метод компресії зображень нерухомого фону, який базується на таких механізмах: 1) ідентифікуюча область стаціонарного фону, яка дозволить врахувати наявність міжкадрової надмірності між сусідніми кадрами; 2) роздільна обробка виділених стаціонарних та динамічних компонентів з використанням операції накладання двійкової маски. Розроблено концепцію формування обробленого подання динамічних зображень нерухомого фону. Диференціальне представлення кадру, використовуючи поріг фільтрації, дозволяє ідентифікувати нерухомі фонові області (стаціонарний компонент) та області, що містять динамічні об'єкти (динамічний компонент).

Ключові слова: зображення, кодування, квантування, матриця, дані.

Т. В. Філімончук, В. О. Мартовицький, Д. В. Гонтарева

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ТРАНЗАКЦІЇ І БЛОКУВАННЯ, РІВНІ ІЗОЛЬОВАНОСТІ ТРАНЗАКЦІЙ

Анотація. Предметом дослідження є ефективність використання рівнів ізолюваності транзакцій. Метою даної статті є визначення доцільності використання розповсюджених рівнів ізолюваності транзакцій, які впливають на блокування, для запобігання виникненню неузгодженості даних (втрачене оновлення, «брудне» читання, неповторюване читання, фантомне читання) при паралельному виконанні транзакцій. Були отримані наступні **результати**. Одночасно може бути встановлений тільки один параметр рівня ізолюваності транзакції, який продовжує діяти для поточного з'єднання до тих пір, поки не буде явно змінений. Коли для транзакції змінюється рівень ізоляції, ресурси, які зчитуються після зміни, захищаються відповідно до правил нового рівня. Ресурси, які зчитуються до зміни, залишаються захищеними відповідно до правил попереднього рівня. Системи управління базами даних, які забезпечують транзактивність, не завжди підтримують всі розглянуті чотири рівні ізолюваності транзакцій, а також можуть вводити додаткові рівні. **Висновки.** Використовуючи високий рівень ізолюваності (впорядкованість), можна захистити одну транзакцію від впливу іншої, але за рахунок істотного збитку для продуктивності бази даних. На цьому рівні результати паралельного виконання транзакцій для бази даних у більшості випадків можна вважати такими, що збігаються з послідовним виконанням тих же транзакцій (по черзі в будь-якому порядку). З іншого боку, низький рівень ізоляції (читання незафіксованих даних) транзакції породжує проблеми з неузгодженістю даних, забезпечуючи при цьому більш високу продуктивність.

Ключові слова: неузгодженість даних, транзакції, версіонування, блокування, рівні ізолюваності транзакцій, читання незафіксованих даних, читання фіксованих даних, повторюваність читання, впорядкованість.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

На сьогоднішній день комп'ютерні системи використовуються у все більш різноманітних областях та додатках. Вони стають поширенішими і виконують різноманітні завдання майже в усіх сферах нашого життя. Для того, щоб задовольнити всі наші потреби, комп'ютерні системи повинні зберігати великий обсяг інформації. Необхідно, щоб ця інформація зберігалася і була структурована таким чином, аби приносити користь і для самої системи, і, так само, для людей, які проектують та працюють з системою. Така структурована інформація називається даними і зазвичай її постійно зберігають в базі даних.

При роботі з базами даних (БД) постійно виникає необхідність підтримки даних в актуальному стані. Для цього необхідно здійснювати оновлення таблиць, що існують. Система управління базами даних (СУБД) послідовно здійснює обробку записів таблиць, які необхідно оновити. Але завжди присутній інтервал часу, коли частина записів вже містить нові значення, а частина – ще не оновлена. Також в процесі оновлення може виникнути ситуація, коли стан цілісності бази даних порушено, внаслідок того, що виник збій. Мережні, паралельні та розподілені бази даних обслуговують безліч користувачів, що працюють одночасно. При паралельному виконанні транзакцій можливі наступні неузгодженості даних:

- втрачене оновлення – при одночасній зміні одного блоку даних різними транзакціями втрачаються всі зміни, крім останньої;

- «брудне» читання – читання даних, які додані або змінені транзакцією, що згодом не підтвердиться (відкотиться);

- неповторюване читання – при повторному читанні в рамках однієї транзакції дані, які було раніше прочитано, виявляються зміненими;

- фантомне читання – одна транзакція в ході свого виконання кілька разів обирає безліч рядків за одними й тими ж критеріям. Інша транзакція в інтервалах між цими вибірками додає рядки або змінює стовпці деяких рядків, які використовуються в умовах вибірки першої транзакції, і успішно закінчується. В результаті вийде, що одні й ті ж вибірки в першій транзакції дають різні безлічі рядків.

Для того, щоб уникнути проблем, які виникають під час одночасного виконання транзакцій, використовуються блокування.

Мета статті є визначення оптимального ступеню забезпечення внутрішніми механізмами системи управління базою даних захисту від усіх або деяких видів неузгодженості даних, які виникають при паралельному виконанні транзакцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Транзакція – це група послідовних операцій з базою даних, яка являє собою логічну одиницю роботи з даними [1]. Транзакція може бути виконана або цілком і успішно, дотримуючись цілісності даних і незалежно від інших транзакцій, що виконуються паралельно, або не виконана взагалі.

Проблеми, які виникають при виконанні транзакцій запису та читання даних згадуються у декількох джерелах [1, 3, 8, 9] та викликають неузгодженість даних. Для того, щоб підтримувати узгодженість та ізоляцію даних, які є одними з головних характеристик транзакції, використовуються блокування, які були розглянуті в [3].

Читання за замовчуванням має на увазі вибірку даних з використанням спільного блокування. Запис же вимагає монопольного блокування, так як він призводить до зміни вмісту таблиці. Для того, щоб впливати на блокування, використовуються рівні ізоляції [2].

Виділяють чотири основні рівні ізолюваності транзакцій, які наведено в [4].

Перший рівень – це мінімальний рівень ізоляції, який гарантує тільки фізичну цілісність при записі даних. В [3] його ще називають незавершеним (чорновим) читанням.

Наступний рівень називають читанням фіксованих даних, тому що він запобігає читанню «брудних» даних. На даний час більшість промислових СУБД, зокрема, Microsoft SQL Server, PostgreSQL та Oracle, за замовчуванням використовують саме цей рівень [6-8].

Третій рівень – це рівень ізоляції, при якому ніяка інша транзакція не може змінювати дані, які читаються поточною транзакцією, поки та не закінчена. При повторному запуску інструкції поточною транзакцією будуть вилучені нові рядки, що призведе до «фантомного читання», приклад якого наведено в [5].

На найвищому рівні ізолюваності транзакції ізолюються одна від одної і виконуються так, ніби інших транзакцій не існує.

Версіонування та блокування

На даний час використовують наступні підходи до реалізації ізолюваності: версіонування та блокування.

Версіонування – це збереження кількох версій рядків, які паралельно змінюють. При кожній зміні рядка СУБД створює нову версію цього рядка, з якою продовжує працювати змінюючи дані транзакція, в той час як будь-який інший транзакції процесу читання повертається остання зафіксована версія.

Перевага такого підходу полягає в тому, що він забезпечує більшу швидкість, так як запобігає блокуванню. Однак він вимагає більшої витрати оперативної пам'яті, яка витрачається на зберігання версій рядків. Крім того, при паралельній зміні даних декількома транзакціями може виникнути ситуація, коли кілька паралельних транзакцій виконують неузгоджені зміни одних і тих самих даних (оскільки блокування відсутнє, ніщо не завадить це зробити). Тоді та транзакція, яка зафіксована першою, збереже свої зміни в основній БД, а інші паралельні транзакції виявляться неможливо зафіксувати (так як це призведе до втрати поновлення першої транзакції). Єдине, що може в такій ситуації СУБД – це відкрити інші транзакції і видати повідомлення про помилку «Запис вже змінено».

Блокування даних – це підхід, який полягає в тому, що транзакція процесу письменника блокує дані, які було змінено, для транзакцій процесу читання. Таким чином, перешкоджається «брудне» читання, а дані, які було заблоковано транзакцією процесу читання, звільняються відразу після завершення операції над ними [3].

Об'єктом блокування може бути БД цілком, окрема таблиця, фрагмент таблиці, запис (рядок) або осередок.

По області дії блокування поділяються на рядкове, гранулярне та предикатне [1].

Рядкове блокування – діє тільки на один рядок таблиці БД, не обмежуючи маніпуляції над іншими рядками таблиці;

Гранулярне блокування – діє на всю таблицю або всю сторінку та всі рядки. Блокування, що обмежує маніпуляції зі сторінкою даних в таблиці іноді називається сторінковим.

Предикатне блокування діє на область, яка обмежена предикатами. Зазвичай це блокування по діапазону ключів. При такому блокуванні для ключа або індексу вказується значення або діапазон значень, на які поширюється блокування.

За суворістю блокування поділяються на спільне та монопольне [10].

Спільне блокування – накладається транзакцією на об'єкт у разі, якщо операція, що була виконана, безпечна. Тобто не змінює ніяких даних і не має побічних ефектів. При цьому, всі транзакції можуть виконувати операцію того ж типу над об'єктом, якщо на нього накладено спільне блокування, зазвичай таке блокування використовується для операцій читання.

Монопольне блокування – накладається транзакцією на об'єкт у разі, якщо операція, що була виконана, змінює дані. Тільки одна транзакція може виконувати подібну операцію над об'єктом, якщо на нього накладено монопольне блокування. Блокування не може бути накладено на об'єкт, якщо на нього вже накладено спільне блокування.

За логікою реалізації блокування поділяються на оптимістичне та песимістичне [3].

Оптимістичне блокування – не обмежує модифікацію даних, які було оброблено сторонніми сесіями, однак перед початком модифікації запитує значення деякого виділеного атрибуту кожного з рядків даних (зазвичай використовується найменування VERSION та цілочисельний тип з ініціальним значенням 0). Перед записом модифікацій в базу даних перевіряється значення виділеного атрибуту, і якщо воно змінилося, то транзакція відкочується або застосовуються різні схеми дозволу колізій. Якщо значення виділеного атрибуту не змінилося – проводиться фіксація модифікацій з одночасною зміною значення виділеного атрибуту для сигналізації іншим сесіям про те, що дані змінилися.

Песимістичне блокування накладається перед модифікацією даних, яка є передбаченою, на всі рядки, які така модифікація імовірно зачіпає. Весь час дії такого блокування виключена модифікація даних зі сторонніх сесій, дані з блокованих рядків доступні відповідно до рівня ізолюваності транзакції. По завершенню модифікації, що є передбаченою, гарантується несуперечливий запис результатів.

Рівні ізолюваності транзакцій

Під «рівнем ізоляції транзакцій» розуміється ступінь, що забезпечується внутрішніми механізмами СУБД захисту від усіх або деяких видів перерахованих вище неузгодженостей даних, що виникають при паралельному виконанні транзакцій. Стандарт SQL-92 [2] визначає шкалу з чотирьох рівнів ізоляції: read uncommitted, read committed, repeatable read, serializable. Перший з них є найслабшим, останній – найсильнішим, кожний наступний включає в себе всі попередні.

Перший рівень (read uncommitted) – це мінімальний рівень ізоляції, гарантує тільки фізичну цілісність при записі даних. Цей рівень, має найгіршу узгодженість даних, але найвищу швидкість виконання транзакцій. Назва рівня говорить сама за себе – кожна транзакція бачить незафіксовані зміни іншої транзакції (феномен «брудного» читання) [4].

Типовий спосіб реалізації даного рівня ізоляції – це блокування даних на час виконання команди зміни, яке гарантує, що команди зміни одних і тих же рядків, які запущено паралельно, фактично виконуються послідовно, і жодна з змін не загубиться. Транзакції, що виконують тільки читання, при даному рівні ізоляції ніколи не блокуються. Процеси-читачі можуть зчитувати дані незавершеної транзакції процесу письменника.

Другий рівень (read committed) – це рівень ізоляції, який вказує, що інструкції не можуть зчитувати дані, які були змінені іншими транзакціями, але ще не були зафіксовані. Наведений рівень ще називають читання фіксованих даних, тому що він запобігає читанню «брудних» даних. Дані можуть бути замінені іншими транзакціями між окремими інструкціями в поточній транзакції, результатом чого буде повторюване читання або фантомні дані.

Рівень ізоляції (repeatable read) – це рівень, при якому транзакція, що читає, не бачить зміни даних, які були нею раніше прочитані. При цьому ніяка інша транзакція не може змінювати дані, які читаються поточною транзакцією, поки та не закінчена [5].

Спільне блокування застосовується до всіх даних, які зчитуються будь-якою інструкцією транзакції, і зберігається до її завершення. Це забороняє іншим транзакціям змінювати рядки, які зчитуються поточною транзакцією. Інші транзакції можуть вставляти нові рядки, що відповідають умовам пошуку інструкцій, які містяться в поточній транзакції. При повторному запуску інструкції поточною транзакцією будуть вилучені нові рядки, що призведе до «фантомного читання».

Рівень впорядкованості (serializable) – найвищий рівень ізолюваності, тому що транзакції повністю ізолюються одна від одної, кожна виконується так, як ніби паралельних транзакцій не існує. Тільки на цьому рівні паралельні транзакції не схильні до ефекту «фантомного читання» [5].

Блокування діапазону встановлюється в діапазоні значень ключа, що відповідає умовам пошуку будь-якої інструкції, яка була виконана під час транзакції. Оновлення та вставка рядків, які відповідають інструкціям поточної транзакції, блокується для інших транзакцій. Це гарантує, що якщо будь-яка інструкція транзакції виконується повторно, вона буде зчитувати той же самий набір рядків. Блокування діапазону зберігається до завершення транзакції. Це найсуворіший рівень ізоляції, оскільки він блокує цілі діапазони ключів та зберігає блокування до завершення транзакції. Через низький паралелізм цей рівень рекомендується використовувати тільки при необхідності.

У таблиці нижче показано, від яких побічних ефектів кожен з чотирьох рівнів ізоляції страждає

(від проблем паралелізму, які було перераховано раніше). Значення "Так" в таблиці означає, що певна проблема можлива при даному рівні ізоляції, а значення "Ні" – що проблема на даному рівні ізоляції неможлива.

Таблиця 1 – Поведінка при різних рівнях ізолюваності

Рівень ізоляції	Фантомне читання	Неповторюване читання	«Брудне» читання	Втрачене оновлення
Serializable	Ні	Ні	Ні	Ні
Repeatable read	Так	Ні	Ні	Ні
Read committed	Так	Так	Ні	Ні
Read uncommitted	Так	Так	Так	Ні

Одночасно може бути встановлено тільки один параметр рівня ізоляції, який продовжує діяти для поточного з'єднання до тих пір, поки не буде явно змінений. Всі операції зчитування, які було виконано в рамках транзакції, функціонують відповідно до правил рівня ізоляції.

Рівні ізоляції транзакції визначають тип блокування, який застосовується до операцій зчитування. Спільні блокування, що застосовуються для read committed або repeatable read, як правило, є блокуваннями рядків, але при цьому, якщо в процесі зчитування йде звернення до великої кількості рядків, блокування рядків може бути розширене до блокування сторінок або таблиць. Якщо рядок був змінений транзакцією після зчитування, для захисту такого рядка транзакція застосовує монопольне блокування, яке зберігається до завершення транзакції. Наприклад, якщо транзакція repeatable read має спільне блокування рядків і при цьому змінює його, таке блокування перетворюється в монопольне. У будь-який момент транзакції можна переключитися з одного рівня ізоляції на інший.

Коли для транзакції змінюється рівень ізоляції, ресурси, які зчитуються після зміни, захищаються відповідно до правил нового рівня. Ресурси, які зчитуються до зміни, залишаються захищеними відповідно до правил попереднього рівня. Наприклад, якщо для транзакції рівень ізоляції змінюється з read committed на serializable, то спільні блокування, які отримано після зміни, будуть утримуватися до завершення транзакції.

СУБД, які забезпечують транзакційність, не завжди підтримують всі чотири рівні, а можуть вводити додаткові.

Можливі також різні нюанси в забезпеченні ізоляції.

Так, Oracle [7] в принципі не підтримує нульовий рівень, так як його реалізація транзакцій виключає «брудні читання», і формально не дозволяє встановлювати рівень repeatable read. Тобто Oracle підтримує тільки рівні read committed (за замовчуванням) та serializable. При цьому на рівні окремих команд він, фактично, гарантує повторюване читання (якщо команда SELECT в першій транзакції обирає з бази набір рядків, і в цей час паралельна друга транзакція змінює якісь з цих рядків, то результую-

чий набір, який отримано першою транзакцією, буде містити незмінені рядки, як ніби другий транзакції не було). Також Oracle підтримує так звані read-only транзакції, які відповідають serializable, але при цьому не можуть самі змінювати дані.

Microsoft SQL Server підтримує всі чотири стандартних рівня ізоляції транзакцій та додатково – рівень snapshot [6], на якому транзакція бачить той стан даних, який було зафіксовано до її запуску, а також зміни, які було внесено нею самою. Тобто поводитьсь так, начебто отримала при запуску моментальний знімок даних БД і працює з ним. Відмінність від serializable полягає в тому, що не використовуються блокування, але в результаті фіксація змін може перестати працювати, якщо паралельна транзакція змінила ті ж самі дані раніше; в цьому випадку друга транзакція при спробі виконати commit викличе повідомлення про помилку і буде скасована.

Висновки

В цій статті було описано процес управління ступенем узгодженості даних за допомогою вибору різних рівнів ізоляції і те, як цей вибір впливає на паралельний доступ. Було розглянуто чотири режими, в яких використовуються блокування.

Незавершене (чорнове) читання – це мінімальний рівень ізоляції який гарантує тільки фізичну

цілісність при записі даних. Цей рівень, має найгіршу узгодженість даних, але найвищу швидкість виконання транзакцій.

Читання фіксованих даних – це рівень ізоляції, який вказує, що інструкції не можуть зчитувати дані, які були змінені іншими транзакціями, але ще не були зафіксовані.

Третій рівень використовується за замовчуванням в MySQL. Він відрізняється від другого рівня тим, що знову додані дані вбудуть доступні в транзакції, але не будуть доступні до підтвердження ззовні.

Рівень впорядкованості – найсуворіший рівень ізоляції, оскільки він блокує цілі діапазони ключів та зберігає блокування до завершення транзакції. Через низький паралелізм цей рівень рекомендується використовувати тільки при необхідності.

Реальні бази даних потребують застосування компромісу між паралельним доступом і серіалізованими режимами операцій. Ключовий момент тут полягає в тому, що, використовуючи високий рівень ізоляції, можна захистити одну транзакцію від впливу іншої, але за рахунок істотного збитку для продуктивності бази даних. З іншого боку, низький рівень ізоляції транзакції породжує проблеми з даними, описані раніше в цій статті, забезпечуючи при цьому більш високу продуктивність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Файли К. SQL. Москва: ДМК Пресс, 2013, 456 с.
2. Connolly T., Begg C. Database Systems A Practical Approach to Design, Implementation, and Management: Global Edition. Boston: Pearson Education, 2014, 1440 p.
3. Elmasri R., Navathe S.B. Fundamentals of Database Systems. Boston: Addison Wesley, 2016, 1272 p.
4. Кен Хендерсон, Профессиональное руководство по SQL Server. Структура и реализация. Москва: Вильямс, 2006, 1056 с.
5. Coronel C., Morris S. Database system: Design, Implementation, & Management: 13th Edition. Boston: Cengage, 2019, 802 p.
6. Davidson L., Moss J. Pro SQL Server Relational Database Design and Implementation: Fifth Edition. New York: Apress, 2012, 791 p.
7. Pavlovic Z., Veselica M. Oracle Database 12c Security Cookbook. Birmingham: Packt publishing, 2016, 358p.
8. Korotkevitch D. Expert SQL Server Transactions and Locking. Birmingham: Packt publishing, 2018, 320 p.
9. Nechausov A., Mamusuê I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
10. Гайдаржи В., Ізварін І. Бази даних в інформаційних системах. Київ: Університет «Україна», 2018, 418 с.

Received (Надійшла) 19.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.11.2020

Transactions and locks, transaction isolation levels

T. Filimonchuk, V. Martovytskyi, D. Hontariva

Abstract. The subject of the study is the effectiveness of the use of transaction isolation levels. The purpose of this publication is to determine the feasibility of using common levels of transaction isolation that affect blocking, to prevent data inconsistencies (lost updates, "dirty" reading, non-repetitive reading, phantom reading) in parallel transactions. The **results** were obtained. Only one transaction isolation level parameter can be set at a time, which remains valid for the current connection until it is explicitly changed. When the isolation level for a transaction changes, the resources read after the change are protected according to the rules of the new level. Resources that are read before the change remain protected according to the rules of the previous level. Database management systems that provide transactivity do not always support all four levels of transaction isolation and may introduce additional levels. **Conclusions.** Using a high level of isolation (order), you can protect one transaction from the impact of another, but at the expense of significant damage to database performance. At this level, the results of parallel transactions for the database in most cases can be considered to coincide with the sequential execution of the same transactions (alternately in any order). On the other hand, the low level of isolation (reading of unrecorded data) of the transaction creates problems with data inconsistency, while providing higher performance.

Keywords: data inconsistency, transactions, versioning, blocking, levels of transaction isolation, reading of unfixed data, reading of fixed data, repeatability of reading, orderliness.

O. Cherednik, T. Dmytrenko, T. Derkach

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

INTELLIGENT MODEL DEVELOPMENT FOR RECOGNIZING EMOTIONS IN TEXT

Abstract. The topical issue of human emotions recognition in the text is considered. The offers of available products on the market that offer similar functionality are analyzed. The possibilities of implementing the model for recognizing emotions in the text are investigated. The program functions interact with the model and the requirements for the model itself are determined. The steps sequence for obtaining data for training the model and its own implementation is given. The developed architectural model is presented, the programming language use is selected and substantiated, the methods and approaches use for training the model is selected and justified, the initial data and options sources for obtaining data for training the model are considered. A model and a data set for it are proposed, which will make it possible to obtain recognition of some emotions in the text with a certain accuracy. Particular attention is paid to the possibility of developing the application and improving this approach and model in the future for the possibility of using machines to better serve people, understanding the consumer, measuring the happiness level among the population, understanding the audience mood.

Keywords: recognition of emotions in the text, intelligent model, semantic analysis of the text, model building.

Introduction

More and more work nowadays is being done in industries such as machine language translation, Chatbots, text classification (sentiment analysis, topic naming) and many others.

Considering the data amount in the world is growing every year, the areas where it would be advisable to process such data and use the processing results are also increasing.

Emotions take an important part in communication when people interact with each other, but machines cannot understand these emotions. Therefore, determining the emotion type will play an important role in the future humans interaction with machines. Emotion detection can have useful applications, such as:

- Understanding the person's condition to better serve the person.
- Understanding of the user, and as a consequence of improving the user with the ultimate goal of increasing brand reputation and sales.
- Measuring the happiness level among the population.
- Understanding the audience mood. Can be applied to social networks, forums, chats, etc.

Problem statement

The study objective is to design and programmatically implement a model for recognizing certain emotions in the text.

Appointment of an intelligent model for recognizing emotions in the text. The main purpose of this model is to recognize six main emotions categories that are widely used to describe the basic people emotions: happiness, sadness, anger, disgust, surprise, fear.

The creating purpose an intelligent model for recognizing emotions in the text. The goal is to build and model with the subsequent possibility of using it to better serve machines to people, understanding the consumer, measuring the happiness level among the population, understanding the audience mood and other similar areas.

The target audience of the intellectual model for recognizing emotions in the text. Target audience: scientists, developers, entrepreneurs and people are interested in such functionality.

Material and research results

Existing information products review with similar functionality on the market. To create an intelligent model for recognizing emotions in the text, an analysis of existing services and products was carried out.

Here are a few of the reviewed products:

1. TwinWord is an API that allows you to highlight one of six emotions (anger, disgust, fear, happiness, sadness, and surprise) in a text paragraph. Used in conjunction with AWS and RapidAPI where requests are sent and after they are processed, we receive a response with emotional ratings and emotion that was detected (Fig. 1)[1].
2. Text analytics by Microsoft [2]. Text analytics from Microsoft enables you to (Fig. 2):
 - determine the text tonality (positive, neutral and negative)
 - determine the text language and the confidence in this assumption;
 - highlighting key phrases in not very structured text.
3. IBM Watson Tone Analyzer [3]. This service may analyze social media posts, emails, French product views, and personal text. As a result, we will receive a list of emotions present in this text (anger, fear, joy, sadness, I am sure). You can also consider in more detail each proposal for the presence of a particular emotion (Fig. 3).
4. MonkeyLearn sentiment analysis [4]. The service is focused on anticipating the sentimental content of the offer, without highlighting the emotions. As a result, it returns one of three values (positive, neutral, negative) (Fig. 4).

The currently existing services analysis showed the relevance of developing an intelligent model for recognizing emotions in text and programs. With the such a

program help, it will be possible to interact with this model and the such interaction result will be the definition in the text of one or another emotion from six basic emotions (anger, fear, joy, sadness, I am sure).



Fig. 1. TwinWord interface

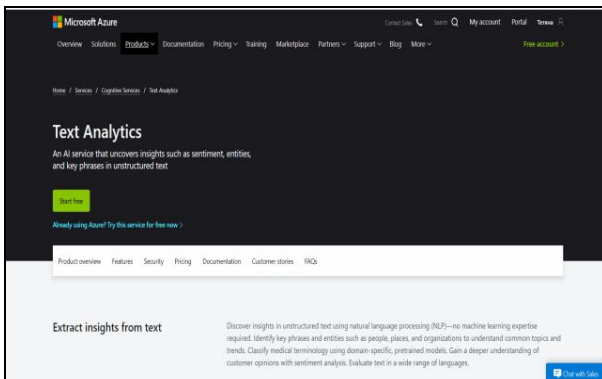


Fig. 2. Text analytics by Microsoft interface

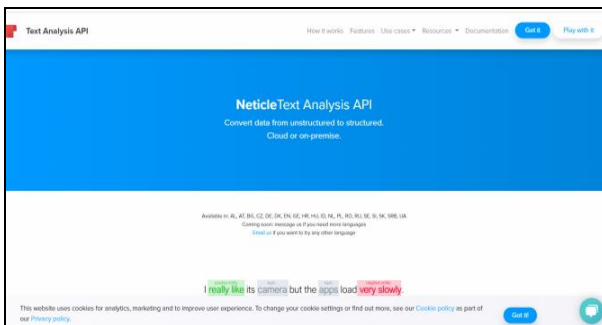


Fig. 3. IBM Watson Tone Analyzer interface

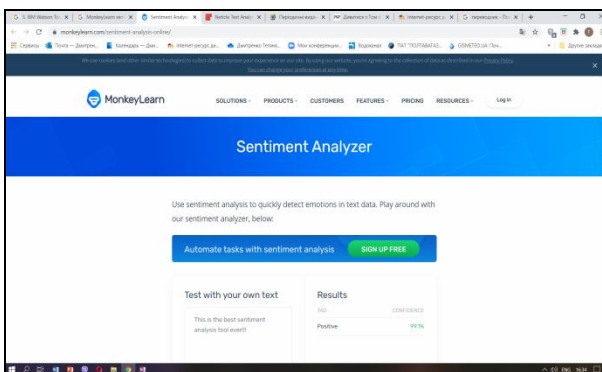


Fig. 4. MonkeyLearn sentiment analysis interface

Tools selection of and approaches to implementation with their justification

First, let's think about a sentiment analysis tool where we can anticipate the sentence polarity. Let's consider the following message: "I'm so happy that I did all the work today on time :) #happy". We can say that this proposal has a positive meaning.

Such a tool can be used to view products on social media data. Another way to use it is to anticipate a company's reputation based on what users say.

Sentiment analysis is a good tool if we just want to test the sentence polarity. But the purpose of this work is to define a specific emotion, but only polarity, so in this work there will be little sentiment analysis.

So specific emotions predictions that a specific text carries within it will be realized. With the emotion recognition help, you can get more detailed data about what exactly the user felt at the moment of this particular message, etc., which means that the application is wider.

It is for the emotions recognition in the text that neural networks will be used.

For semantic analysis, one can use SENN [5] (Semantic-Emotion Neural Network) or Bidirectional GRU [6] (Gated recurrent unit).

SENN can use both semantic / syntactic and emotional information by accepting pre-trained word representations. The SENN model has basically two subnets, the first subnet uses bi-directional long-term short-term memory to gather contextual information and focuses on semantic relationships, the second subnetwork uses CNN [7] (Convolutional neural network) to extract emotional characteristics and emphasizes the emotional relationship words from the text.

In this case, the Bidirectional GRU model will be used for semantic analysis of the data that will be received from Twitter.

For the architecture of a machine learning model for emotion recognition, Bidirectional RNN (Recurrent Neural Networks) [8] LSTM (Long short-term memory) [9] with CNN level will be used.

The idea is that the LSTM layer captures information about the context of the proposal, while CNN grabs local specifics.

A dataset for training a smart model. To train an intelligent model, you need to have a dataset labeled with the corresponding emotions. The datasets include such filtered sets as:

- Sentiment Analysis: Emotion in Text[10]
- Complete Tweet Sentiment Extraction Data[11];
- The GoEmotions dataset[12];
- Downloaded and filtered users posts from Twitter.

Programming language. In my experience, the two most popular programming tools for working with data science are Python [13] and R [14]. It is difficult to choose one of these two extremely flexible data analysis languages. Both are free and open source and were developed in the early 1990s. R for statistical analysis and Python for general tasks.

A wide libraries and frameworks range for machine learning, simplifies the development process and reduces development time. Python's simple syntax and readability make it quicker to test complex algorithms and make the language accessible to non-programmers.

Python is a powerful, versatile language that programmers can use for a variety of computer science tasks, so this project will be done using Python and tools as related.

Training an intelligent model. Having a dataset labeled with emotion is being trained, we move on to building a model to predict emotions in the text.

Model training process:

- data is filtered;
- prepared data is divided into a training dataset and a dataset for testing (in a ratio of 70% to 30%).
- Training and validation datasets are used to train the classifier and optimize its parameters, while a test dataset (invisible to the model) is reserved for model testing to indicate how well the model is trained;
- the model is initialized;
- starting training for a certain number of epochs and checking the accuracy of the model with subsequent correction (Fig. 5).

When developing a software product and training an intelligent model, modern technologies were selected

and substantiated, which make it possible to perform the assigned task with the least amount of time and a fairly good result.

Conclusions

The research results are: an intelligent model for recognizing emotions in the text and a console program that makes it possible to interact with the specified model.

The program result is the percentage probability of the sentence belonging to one or another of the above emotions.

The console program works in one of two modes:

- the text analysis in a given document, which contains a list of sentences in which the emotion should be defined (Fig. 6);
- interactive mode: when the user enters a sentence from the console and receives the output of the program back to the terminal (Fig. 7).

The data set on which the intelligent model was trained played an important role in achieving the research goal.

As a result, the model accuracy was about 60% (Fig. 8), but this is not the maximum possible indicator.

Some ways you can improve the model result.

```

Total params: 5,694,086
Trainable params: 5,694,086
Non-trainable params: 0
30/249 [==>.....] - ETA: 3:01 - loss: 1.7641 - accuracy: 0.2247
    
```

Fig. 5. Model training process

```

Original sentence: Hello to all my new followers.. say hi @ me so i can say its nice to meet you too!
Cleaned sentence: hello new followers say hi say nice meet
Predicted emotion for this sentence:
happiness
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.023    0.015    0.021    0.849    0.025    0.066
-----
Original sentence: Whenever I'm feeling sad I will listen to monsta x and hug my teddy bear and I always feel better
Cleaned sentence: whenever i'm feeling sad listen monsta x hug teddy bear always feel better
Predicted emotion for this sentence:
sadness
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.007    0.003    0.016    0.022    0.927    0.025
-----
Original sentence: enjoying my coffee with this super delicious cookie
Cleaned sentence: enjoying coffee super delicious cookie
Predicted emotion for this sentence:
happiness
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.014    0.015    0.014    0.901    0.01    0.047
-----
Original sentence: ur soldiers in war zones are held to a higher level of rules of engagement than our police officers.
Cleaned sentence: ur soldiers war zones held higher level rules engagement police officers
Predicted emotion for this sentence:
anger
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.667    0.09    0.091    0.028    0.019    0.105
    
```

Fig. 6. Definition of emotions in the list of sentences in a given document

```

Enter q to exit.
I'm tired of you
Time spent to remove stop words and clean up sentences: 0.0430 sec
Original sentence: I'm tired of you
Cleaned sentence: i'm tired
Predicted emotion for this sentence:
unknown
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.072    0.054    0.165    0.095    0.486    0.129
-----
the last song all american rejects an amazing song
Time spent to remove stop words and clean up sentences: 0.0031 sec
Original sentence: the last song all american rejects an amazing song
Cleaned sentence: last song american rejects amazing song
Predicted emotion for this sentence:
happiness
-----
anger    disgust    fear    happiness    sadness    surprise
0.022    0.033    0.062    0.528    0.02    0.334
    
```

Fig. 7. Emotions determination in the user's proposal interactively

```

Total params: 5,694,086
Trainable params: 5,694,086
Non-trainable params: 0
-----
Epoch 1/2
346/346 [=====] - 441s 1s/step - loss: 1.2922 - accuracy: 0.4989 - val_loss: 1.1212 - val_accuracy: 0.5784
Epoch 2/2
346/346 [=====] - 356s 1s/step - loss: 0.9706 - accuracy: 0.6439 - val_loss: 1.1323 - val_accuracy: 0.5801
124/124 [=====] - 39s 313ms/step - loss: 1.1276 - accuracy: 0.5860
Restored model, accuracy: 58.60%
Restored model loss -> 1.1276049613952637

```

Fig. 8. Trainthemodel.

One important aspect to explore is espacially the dataset. You can balance the samples distribution for each emotion (giving each emotion equal samples).

- Collect test data for verification, that is, designate each user's post one by one so that the test set better reflects reality;

- Manually label the entire dataset with appropriate emotions;

- The examples number in the dataset may be larger.

Thus, the accuracy can be better.

REFERENCES

1. Emotion Analysis:[Електронний ресурс].– Режим доступа: <https://www.twinword.com/api/emotion-analysis.php> (дата звернення 30.08.2020). – Назва з екрана.
2. Text analytics by Microsoft: [Електронний ресурс]. –Режим доступа: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/services/cognitive-services/text-analytics/#features> (дата звернення 14.08.2020). – Назва з екрана.
3. IBM Watson Tone Analyzer:[Електронний ресурс].– Режим доступа:<https://tone-analyzer-demo.ng.bluemix.net>(дата звернення 25.09.2020). – Назва з екрана.
4. MonkeyLearn sentiment analysis:[Електронний ресурс].– Режим доступа: <https://monkeylearn.com/sentiment-analysis>(дата звернення 30.09.2020). – Назва з екрана.
5. Batbaatar E. Semantic-Emotion Neural Network for Emotion Recognition From Text /E.Batbaatar, M.Li and Ryu K.H. // IEEE Access. – vol. 7. –2019.–pp. 111866-111878, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2934529.
6. Gruber,N. Are GRU cells more specific and LSTM cells more sensitive in motive classification of text?/ Gruber,N.; Jockisch A. //Frontiers in Artificial Intelligence.– № 3–2020. doi:10.3389/frai.2020.00040.
7. Aurélien GéronHands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow.– Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2019. –pp. 448.
8. Saon, G., & Picheny, M. (2017). Recent advances in conversational speech recognition using convolutional and recurrent neural networks. IBM Journal of Research and Development, 61(4/5), 1-1.
9. Gupta A. et al. Generative recurrent networks for de novo drug design //Molecular informatics. – 2018. – Т. 37. – №. 1-2. – С. 1700111.
10. Sentiment Analysis: Emotion in Text:[Електронний ресурс].– Режим доступа: <https://www.kaggle.com/c/sa-emotions/data> (дата звернення 01.11.2020). – Назва з екрана.
11. Complete Tweet Sentiment Extraction Data:[Електронний ресурс].– Режим доступа: <https://www.kaggle.com/maxjon/complete-tweet-sentiment-extraction-data>
12. The GoEmotions dataset:[Електронний ресурс].– Режим доступа: <https://github.com/google-research/google-research/tree/master/goemotions> (дата звернення 17.07.2020). – Назва з екрана.
13. Python is a programming language that lets you work more quickly and integrate your systems more effectively:[Електронний ресурс].– Режим доступа.: <https://www.python.org/> (дата звернення 20.09.2020). – Назва з екрана
14. Ben M. Packaging data analytical work reproducibly using R (and friends) / M. Ben, C. Boettiger and L. Mullen // The American Statistician. –№ 72.1. – (2018).– p. 80-88.

Received (Надійшла) 12.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.11.2020

Розробка інтелектуальної моделі по розпізнаванню емоцій в тексті

О. С. Чередник, Т. А. Дмитренко, Т. М. Деркач

Анотація. У статті запропоновано модель і набір даних для неї, які дозволять отримати розпізнавання деяких емоцій в тексті з певною точністю. Предметом вивчення в статті є модель по розпізнаванню емоцій в тексті. **Метою статті** є дослідження та побудова моделі по розпізнаванню емоцій в тексті з подальшою можливістю застосування для кращого розуміння споживача, вимірювання рівня щастя у населення, розуміння настрою аудиторії і інших схожих сферах. **Задача, що вирішується.** Досліджено можливості реалізації моделі для розпізнавання емоцій в тексті. Визначено функції програми, яка буде взаємодіяти з моделлю і вимоги до самої моделі. **В статті розглядається:** актуальне питання розпізнавання емоцій людини в тексті. Проаналізовано пропозиції наявних продуктів на ринку, які пропонують схожий функціонал. Наведено послідовність кроків отримання даних для тренування моделі і власної реалізації. Особлива увага звертається на можливості розвитку застосування і поліпшення даного підходу. **Висновки.** Представлено розроблену архітектуру моделі, обрано та обґрунтовано використання мови програмування, обрано та обґрунтовано використання методів і підходів для тренування моделі, розглянуті джерела вихідних даних та варіанти отримання даних для тренування моделі.

Ключові слова: розпізнавання емоцій у тексті, інтелектуальна модель, семантичний аналіз тексту, побудова моделі.

С. І. Шаповалова, О. О. Мажара

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ

Анотація. Предметом дослідження в статті є алгоритми співставлення зі зразком, які використовуються в програмному інструментарії розробки систем, що базуються на правилах. Мета роботи - представлення особливостей вибору або генерації бенчмарків алгоритмів співставлення зі зразком в залежності від специфіки вирішуваних задач. В статті вирішуються наступні завдання: визначити проблематику тестових задач; провести аналіз концепцій базових алгоритмів співставлення зі зразком; провести аналіз існуючих бенчмарків алгоритмів співставлення зі зразком; виокремити основні підходи та методи формування бенчмарків. Методами, що аналізуються, є Rete, Treat та їх модифікації, а також методи та підходи до формування бенчмарків для аналізу продуктивності алгоритмів співставлення та систем, заснованих на правилах. Отримані наступні **результати:** для порівняльного аналізу представлено концепції базових алгоритмів співставлення зі зразком, що дозволило виокремити значимі характеристики, які впливають на продуктивність співставлення в термінах часу виконання та структури бази знань. Виокремлення характеристик відбувалося за двома підходами, які стосуються логічного виведення в системах, що базуються на правилах (rule-base) та для систем Semantic Web. Визначено базові тестові задачі, які використовуються в якості бенчмарків. Представлено основні бенчмарки алгоритмів співставлення зі зразком з відповідним визначенням специфіки області їх використання. **Висновки:** визначено проблеми аналізу ефективності механізмів логічного виведення для прикладних систем різного типу. Проведено аналіз та представлено концептуальні відмінності базових алгоритмів співставлення зі зразком, які впливають на вимоги до формування або вибору бенчмарків. На основі проведеного аналізу представлено основні характеристики бенчмарків для продукційних систем та систем Semantic Web. Визначено основні підходи та методи формування бенчмарків. Перспективним напрямком подальших досліджень вбачається вбачається створення нових тестових задач, які дозволять застосовувати представлення в термінах логіки першого порядку.

Ключові слова: продукційні системи, співставлення зі зразком, бенчмарки, Rete.

Вступ

Постановка проблеми. Виведення логічного заключення є основною задачею в автономних експертних системах. Крім цього така задача також часто постає як одна з багатьох в програмних комплексах, зокрема, в системах навігації, моніторингу та діагностики. Для реалізації цієї задачі використовуються спеціальні механізми виведення, найбільш затребувані з яких можна умовно поділити за такими основними напрямками: виведення за правило-орієнтованими базами знань (rule-based) та за базами Semantic Web.

В обох випадках найбільш ресурсоємним компонентом є співставлення зі зразком (СЗЗ). Цей етап виведення дозволяє обрати підмножину правил, які узгоджуються з поточною постановкою задачі. Для оцінювання продуктивності механізмів логічного виведення в цілому та співставлення зі зразком зокрема використовують спеціалізовані тестові задачі – бенчмарки. Однак більшість з них була запропонована для перших розробок продукційних систем (ПС, rule-based systems) та не відповідає сучасним вимогам до прикладних програмних комплексів. Сучасні рішення вимагають підходів до генерації правил та даних тестових задач, які відповідатимуть характеристикам баз знань, а також дозволитимуть визначити специфічні особливості в процесі співставлення для конкретних реалізацій алгоритмів. Актуальною є задача виокремлення таких характеристик та створення підходів до перевірки ефективності механізмів логічного виведення на основі правил.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тестування ефективності систем зазвичай відбувається за двома базовими параметрами: швидкодія та використання ресурсів пам'яті. Часто ці характеристики потребують окремих реалізацій тестових баз знань. Крім того важливим аспектом є те, що реалізація тестових задач має проводитись або в рамках однієї концепції продукційних систем або з використанням декількох обчислювальних механізмів. Так, наприклад, в CLIPS представлено як продукційну так і об'єктно-орієнтовану модель. В даному програмному інструментарії об'єктно-орієнтована модель реалізовувалась іншою групою розробників як доповнення до класичного представлення і опису конструкцій фактів. В залежності від обраного формату представлення робочої пам'яті, можуть змінюватися показники навіть в рамках однієї версії продукту.

Найпоширенішими бенчмарками на сьогодні залишаються реалізації класичних задач штучного інтелекту, такі як Waltz та Manners. Однак, іноді разом з системою поширюються тести та бенчмарки, які використовувалися в процесі її розробки. Це можуть бути спрощені задачі, орієнтовані на перевірку специфічної властивості алгоритму або регресії між різними версіями системи [1]. В той же час важливо забезпечити користувачів можливістю крос-продуктного порівняння.

Waltz та Manners були створені для тестування Treat алгоритму СЗЗ [2]. Тест Manners – це задача розміщення гостей на вечері. Правила полягають у тому, що статі мають чергуватися (чоловік, жінка, чоловік, жінка тощо), а гості, які сидять поруч, ма-

ють спільне хобі. Зміна кількості гостей дозволяє перевірити ефект від ускладнення проблеми. Тест Waltz знаходить співвідношення ліній двовимірних зображень з ребрами тривимірної сцени.

Дослідниками неодноразово наголошувалось на їх недостатності для визначення ефективності роботи механізмів виведення [1]. Однак досі більшість порівняльних аналізів використовують саме ці бенчмарки. Крім того варто брати до уваги, що академічні дослідження алгоритмів відмінні від їх використання в комерційних продуктах [1]. Програмний інструментарій систем, що базуються на правилах, а також деякі засоби Semantic Web, використовують Rete алгоритм для СЗЗ. Порівняльний аналіз ефективності реалізації Rete алгоритму в декількох послідовних версіях CLIPS, навіть з використанням найпростіших бенчмарків, дозволив G. Riley виявити основні недоліки поточної реалізації і наступного року представити зміни в базовому алгоритмі співставлення середовища CLIPS [3].

Більш складною задачею є перевірка ефективності систем заснованих на правилах в цілому. Спеціалізовані засоби розробки – обгортки продукційних систем – надають користувачеві реалізацію механізму логічного виведення та задають синтаксис представлення продукцій. Для порівняльного аналізу механізмів виведення (benchmarking), заснованих на правилах розробляють фреймворки, які вирішують проблему міграції тестових баз знань в межах визначеного набору обгортки [4].

Для напрямку Semantic Web data важливими задачами є генерація обсягів даних, близьких до реальних, та порівняння систем, які базуються на різних технологіях представлення/обробки правил. Створюються спеціалізовані ресурси з наборами бенчмарків та засобами їх міграції на різні системи [5, 6]. Комплексність таких тестових систем накладає обмеження на представлення умовної частини правил. Тому вони частіше використовуються для порівняння відносних показників швидкодії чи затрат пам'яті, а не для аналізу базових алгоритмів виведення.

Метою статті є представлення особливостей вибору та генерації бенчмарків алгоритмів співставлення зі зразком в залежності від специфіки вирішуваних задач.

Для досягнення мети було вирішено такі задачі:

1. Визначити проблематику тестових задач
2. Провести аналіз концепцій базових алгоритмів співставлення зі зразком
3. Провести аналіз існуючих бенчмарків алгоритмів співставлення зі зразком
4. Виокремити основні підходи та методи формування бенчмарків

Проблематика тестових задач

З точки зору коректності та повноти перевірки можна виокремити такі складності застосування тестових задач:

- відповідність специфіці проблемних областей, для яких створювався алгоритм (області не перетинаються, задача тестує лише незначну підмножину, задача повністю відповідає специфіці продукту);

- забезпечення імплементації аналогічної якості в рамках мультипродуктового порівняння;

- узгоджене використання специфічної оптимізації (наприклад, хешування)

- забезпечення неупередженої оцінки/вимірювання в рамках експерименту, особливо якщо системи не надають однакових засобів збору статистичних даних.

Необхідним вбачається створення тестових задач, які відповідають специфіці предметних областей застосування кінцевого продукту. Це зумовлюється наявністю специфічних характеристик баз знань та з точки зору підходів до формування правил та відмінностями в тенденціях до змін робочої пам'яті. Так, наприклад, Rete алгоритм було розроблено з розрахунком на те, що системи, в яких він застосовується, матимуть властивості структурної подібності та тимчасової надмірності. Структурна подібність передбачає, що правила бази знань міститимуть умовні елементи схожої структури та значень. ПС наділена тимчасовою надмірністю, якщо в процесі логічного виведення на кожному кроці змінюється лише незначна частка фактів робочої пам'яті.

Очевидно, що не всі задачі наділені подібними характеристиками, що призвело до створення великої кількості модифікацій базового алгоритму.

В той же час, наразі не запропоновано набір бенчмарків, які дозволять порівняти ефективність цих модифікацій для баз знань з різними властивостями.

Використання реальних систем в якості бенчмарків дозволяє оцінити роботу алгоритмів в оточенні наближеному до комерційних задач. В той же час вона породжує додаткові складності як в реалізації так і в інтерпретації результатів.

Вважається доречним подібне тестування в рамках переходу від однієї версії продукту до іншої з метою перевірки на регресію. Однак, в загальному випадку, використання прикладних задач в якості бенчмарків для перевірки реалізацій різних обгортки вбачається недоцільним завдяки складності реалізації. В той же час можливим є спрощення прикладних проблем до задач, для яких можлива генерація правил БЗ та міграція на інші обгортки в адекватний проміжок часу.

Базові алгоритми співставлення зі зразком

Оскільки СЗЗ є найбільш ресурсоємним етапом логічного виведення, саме на визначення продуктивності його реалізації спрямовано більшість бенчмарків.

Продукційні системи проводять логічне виведення циклічно. На кожному циклі з множини правил бази знань обирається підмножина правил (конфліктна множина), які узгоджуються з вмі-

стом робочої пам'яті. Вибір правила, яке застосовується на поточному кроці, визначається стратегією розв'язання конфлікту. Саме на етапі формування конфліктної множини застосовується співставлення зі зразком. На цьому етапі доводиться істинність умовної частини правил, представленої у вигляді логічної зв'язки зразків. Класичним підходом вирішення цієї задачі є використання інкрементних алгоритмів співставлення зі зразком (СЗЗ). Суть цих алгоритмів полягає в збереженні інформації про попередні цикли обробки з метою зменшення необхідних обчислень. Такий підхід зумовлює необхідність компромісу у співвідношенні швидкодії до витрат на пам'ять. При цьому не завжди додаткові витрати пам'яті призводять до збільшення швидкодії.

Реалізації методів інкрементної оцінки поділяються за об'єктом обчислення та підходами до збереження стану між циклами співставлення на алгоритми жадної оцінки (Eager Evaluation), лінивої оцінки (Lazy Evaluation) та зв'язування простору (Binding Space) [7]. Найбільшого поширення в програмних засобах розробки ПС набули алгоритми нетерплячої оцінки. Базовим серед таких алгоритмів вважається Rete [8]. Обгортки продукційних систем зазвичай використовують його модифікації.

В академічній спільноті значну увагу приділяють Treat алгоритму СЗЗ як модифікації Rete, яка ґрунтується на спостереженні, що іноді повторне обчислення відбувається з більшою ефективністю ніж підтримка та оновлення стану, що зберігається [2]. Сучасні модифікації Rete алгоритму знаходять своє обґрунтування в балансі між збереженням стану та повторним обчисленням.

Інкрементні алгоритми співставлення зі зразком передбачають два етапи виконання.

На першому етапі – прекомпіляції – з бази знань будується мережа потоку даних – графове представлення умовних елементів продукції. Зазвичай прекомпіляція виконується при завантаженні/модифікації бази знань. Однак існують винятки у вигляді ПС, які здатні до навчання. Такі системи лежать поза межами даного дослідження. Наступний етап логічного виведення – виконання, коли зміни фактів робочої пам'яті подаються на мережу потоку даних і узгоджуються в її вузлах.

На рис. 1 представлено мережі потоку даних для Rete та Treat алгоритму.

Мережа потоку даних складається з двох частин: α -мережі, яка відповідає за узгодження константних значень та мережі узгодження змінних – β -мережі. Дані, які зберігаються в вузлах мережі при проходженні, відповідно називаються α та β пам'яттю.

Rete та Treat алгоритми мають однаковий підхід до побудови та проходження α -мережі. Вузли мережі будуються на основі константних значень умовних елементів. Якщо декілька правил мають однакові умовні елементи вони будуть поділяти між собою однієї й ті ж вузли α -мережі. При проходженні змін фактів робочої пам'яті (додавання

чи видалення) шаблони в вузлах зіставляються з шаблонами фактів. У разі відповідності інформація про узгоджений факт зберігається в узлі, формуючи α -пам'ять.

Відмінність алгоритмів Rete та Treat полягає у підході до узгодження змінних в рамках правила. В Rete алгоритмі β -мережа узгодження змінних будується на етапі прекомпіляції. Кожен join вузол цієї мережі (рис.1) містить два входи - від змінних, які необхідно узгодити, або від попереднього узгодження та змінної.

Таким чином проходження по β -мережі визначає поетапне узгодження кожної змінної правила з попередньо узгодженими. Якщо в лівій частині правила представлено n змінних, то β -мережа буде містити $(n - 1)$ вузол. Узгодження змінних в β вузлах зберігається та оновлюється на кожному циклі співставлення.

В Treat алгоритмі β -мережа узгодження змінних (на рисунку 1 представлена пунктиром) будується динамічно та лише для правил, для яких відбулося узгодження в α -мережі. Іноді її називають термінальною мережею, а її вузли відповідно термінальними. При цьому немає обмеження на кількість входів у вузол. Результати співставлення зберігаються лише для вузлів, які визначають правила в поточному конфліктному наборі. В залежності від реалізації Treat, узгоджені змінні зберігаються в вузлах мережі або лише в представленні конфліктного набору. Дані з узгоджень, які не призвели до активації правил видаляються.

В результаті досягнення листових вузлів β -мережі відбувається активація правила, тобто приклад правила з узгодженими значеннями змінних додається до конфліктної множини.

Процес видалення фактів відбувається симетрично процесу додавання з тією лише різницею, що правило видаляється з конфліктного набору. Кожна зміна робочої пам'яті містить відповідну мітку додавання чи видалення.

Для теоретичного порівняння ефективності алгоритмів співставлення дослідниками було запропоновано формальне представлення узгодження [9, 10].

Системи, створені на основі продукційної моделі вважаються, адаптацією класичної логіки до штучного інтелекту та інженерії знань [11]. Тому задачі логічного виведення для таких систем доцільно формалізувати саме в термінах логіки.

Подібні формалізації дозволяють розширити розуміння факторів, які впливають на ефективність роботи алгоритму, дозволяють інтерпретувати існуючі оптимізації та виявити закономірності в використанні ресурсів для різних підходів.

Так, в роботі [10], на основі формалізації представлення Treat алгоритму запропоновано уточнення формули розрахунку затрат пам'яті, запропонованої в [12].

В той же час для експериментальної демонстрації результатів оптимізації найчастіше використовуються вищезгадані Waltz та Manners бенчмарки.

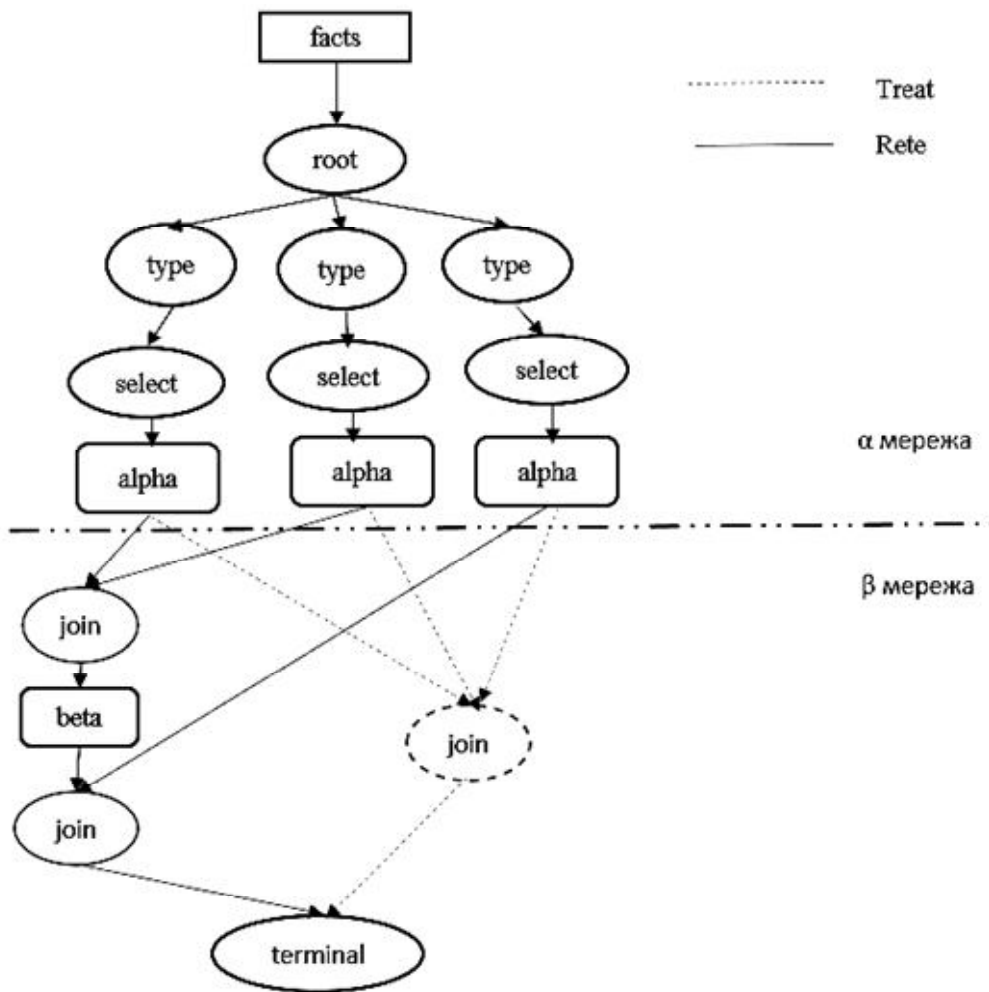


Рис. 1. Схема потоку даних за Rete та Treat алгоритмами

Бенчмарки алгоритмів співставлення зі зразком

Загальні вимоги до швидкодії та витрат пам'яті можна перевірити на прикладі класичних задач штучного інтелекту. Однак, при виборі алгоритму для специфічної задачі варто враховувати її характеристики у відповідності до домену. В роботі [7] на основі аналізу попередніх досліджень було виокремлено характеристики баз знань та властивостей часу виконання, які впливають на ефективність логічного виведення за базовими Rete та Treat алгоритмами.

Вважається доцільним формування тестових бенчмарків, які дозволять порівняти ефективність алгоритмів для заданих характеристик чи її комбінацій.

Розробка таких бенчмарків дозволить дослідити не лише кількісні показники на конкретних прикладах, але й відносні характеристики різних підходів реалізації.

До властивостей баз знань відносять кількість продукцій в системі, обмеження на представлення знань, структурні властивості антецеденту. До обмежень на представлення знань можна віднести, наприклад, наявність/відсутність аналогів кванторів існування або загальності в рамках замкнутості

світу, представленого в системі. До структурних властивостей антецедентів належать: середня кількість умовних елементів, середня кількість змінних, процентна кількість негативних умовних елементів.

Доцільним вважається виокремлення бенчмарків, спрямованих на тестування продукційних систем з обмеженнями на представлення знань. Наприклад, в [13] представлено задачі, розроблені для тестування ПС, обмежених пропозиційною логікою.

В пропозиційній логіці умовні елементи лівої частини продукції є константними, тому зазвичай кожне правило виконується лише один раз. Відповідно системи такого типу зазвичай мають набагато більше правил, ніж засновані на логіці першого порядку.

Крім того, ці правила часто мають подібну структуру та елементи.

Важливо також перевірити можливість системи переходити між наборами правил подібного типу.

В даному випадку необхідно розробити бенчмарки двох типів – для тестування швидкодії СЗЗ на великих наборах схожих правил та для здатності механізмів виведення до побудови ланцюжка висновування на базі груп подібних правил.

Модифікації алгоритмів СЗЗ зазвичай спрямовані на оптимізацію або подолання/зменшення впливу якогось з недоліків алгоритму.

При цьому тестування відбувається на задачах, спеціально розроблених для демонстрації впливу цього недоліку. Таке обмеження не завжди дає змогу дослідити вплив модифікації на інші аспекти алгоритму.

Крім того, часто в роботах виконується порівняння з базовим алгоритмом, але не проводиться аналіз інших підходів з оптимізації.

Модифікації алгоритмів ставлять до бенчмарків вимоги перевірки специфічних властивостей, але в той же час, необхідність надання уявлення про зміну в загальних характеристиках. Забезпечення цих вимог вимагає розробки нових тестових задач.

Аналіз базових модифікацій СЗЗ показує, що поширеними підходами до підвищення ефективності є індексація та її окремий випадок – хешування, а також принципи ранньої відмови [14-17].

Прикладом першого підходу є β -node indexing – індексація фактів відповідно до шаблонів, з якими вони узгоджуються. Другого – Right/Left Unlinking – зупинка поширення змін по мережі потоку даних, якщо не відбулося узгодження в одному з вузлів даного правила.

Оптимізації з індексуванням розраховані на властивості часу виконання системи. Якщо система не наділена тимчасовою надмірністю, то вони можуть не давати бажаного приросту ефективності.

Right/Left Unlinking – дозволяє покращити ефективність роботи алгоритму у випадку великої кількості змінних за рахунок зменшення кількості перевірок в β мережі. Однак в дослідженні [14] показано, що для однієї з тестових задач Right Unlinking жодним чином не вплинув на результати виведення, в той час як Left Unlinking дозволив значно покращити ефективність виконання. Це зумовлювалось специфікою предметної області, де лише незначна частина практично незалежних правил могла активуватися на поточному кроці, але в процесі виведення таких активацій ставало все більше. Попередні дані про узгодження не видалялись з мережі потоку даних. При цьому в групах подібних правил перші декілька умовних елементів були однаковими, але наступні відмінними. Такі характеристики також впливали на ефективність використання спільних вузлів α пам'яті. Вищезгадані особливості призводили до лінійного зменшення ефективності Rete алгоритму з додаванням правил в базу знань, навіть з використанням оптимізації.

Даний приклад ілюструє важливість створення бенчмарків з різним набором характеристик в рамках тестування єдиної концепції.

Цікавим є підхід до перевірки ефективності продукційних систем, застосований в [14]. Для тестування було обрано 7 задач, вирішених в рамках попередніх досліджень з різних предметних областей, таких як, формування розкладу або тренування агенту прийняття рішень. Ці задачі мають вищу

складність в порівнянні з класичними бенчмарками штучного інтелекту. Крім того, вони використовують різні підходи та техніки до вирішення проблем; були реалізовані різними розробниками та передбачають взаємодію з іншими компонентами системи. Кількість початкових правил, на основі яких велось подальше навчання, була в діапазоні від 48 для найпростішої задачі до 1953 для найскладнішої [14]. Однак дана ініціатива створення тестових задач на основі існуючих програмних рішень не знайшла свого продовження в подальших дослідженнях з порівняння алгоритмів.

Не зважаючи на те, що зазначена робота присвячена продукційним системам, що навчаються, можна виокремити важливі аспекти перевірки ефективності таких систем. Експерименти проводились в рамках єдиної оболонки реалізації Soag, щоб порівнювати програмні продукти, реалізовані однією мовою.

В роботі перевірялася поведінка систем зі збільшенням кількості вивчених правил. Навчання відбувалося за рахунок створення нових правил на основі результатів попереднього логічного виведення за навчальною вибіркою. Це безпосередньо впливало на кількість повторюваних умовних елементів в БЗ та формат правил. Так, системи, які намагаються на основі навчальної вибірки сформулювати найбільш специфічні правила, закономірно генерують продукції з більшою кількістю умовних елементів. Кожна з систем мала вивчити не менше 100 000 правил. Такий підхід до розширення бази знань дозволяє вирішити проблему генерації тестових бенчмарків для перевірки масштабування продукційних систем. В той же час з використанням прикладних задач характеристики продукційних правил визначаються специфікою проблеми і неможливо наперед задати розподіл параметрів. Одним з підходів є генерація не лише бази знань на основі реальної навчальної вибірки, але й також генерація навчальної вибірки з наперед заданими характеристиками. В цьому випадку постає питання цілісності правил продукційної системи (верифікація поставленої задачі). З іншого боку, перевірка ефективності алгоритму співставлення не ставить вимог до семантичного наповнення бази знань.

В [14] для кожної з запропонованих тестових задач було створено генератори проблем – тестових вибірок. Автори стверджують, що розподіл параметрів моделей був наближеним до рівномірного. Деяке зміщення до певного типу правил могло призвести до незначної зміни в кількісних показниках, але відносна ефективність розглянутих в роботі алгоритмів лишається коректною.

Доцільною вважається адаптація даного підходу для перевірки ефективності алгоритмів співставлення зі зразком на здатність масштабування для БЗ значних розмірів. Виникає необхідність виокремлення прикладних задач, які можуть стати бенчмарками де-факто.

Додатковим викликом у цьому випадку є можливість тестування реалізацій різних оболонок. В

той же час, більшість сучасних оболонок продукційних систем зберігають CLIPS-подібний синтаксис.

Якщо уникати використання специфічних функцій мови, можливо забезпечити міграцію з однієї платформи на іншу з мінімальними затратами на адаптацію генерованого синтаксису.

Іншим підходом до створення тестових баз знань для різних обгорток є генерація проміжного формату представлення, так званої метамоделі, яка в подальшому транслюється в конкретні реалізації БЗ [4].

Це дозволяє створювати інструменти вимірювання затрат пам'яті та часу механізмів логічного виведення в залежності від таких характеристик як кількість правил, середня кількість умовних елементів в межах правила, типи атрибутів в умовних елементах.

Важливим в даному випадку є використання відкритого, незалежного формату для представлення правил, як наприклад XML. Запропонований в [4] підхід дозволяє порівнювати ефективність механізмів виведення як для традиційних обгорток, так і для Semantic Web. В той же час система накладає обмеження на представлення лівої (умовної) частини продукційного правила як кон'юнкції умовних елементів, які можуть містити лише позитивні терми. Додатково складністю є реалізація трансляції з загального формату на мову оболонки. Правила транслюються по одному, тому неможливо врахувати такі важливі концепції мови як шаблони представлення фактів. Важливою перевагою рішення, запропонованого в [4], є те, що генератор гарантує існування ланцюга логічного виведення, який охоплює всі згенеровані схеми правил. Наразі, з 2017 року система припинила оновлення.

Підходи до формування бенчмарків

Огляд підходів до оцінки ефективності механізмів логічного виведення на основі продукційної моделі представлення знань дозволяє сформувати наступні базові рішення.

Перевірка обгортки продукційних систем в цілому та алгоритмів співставлення зі зразком безпосередньо вимагає різних підходів до формування бенчмарків.

Найбільш багатообіцяючими з точки зору загального тестування є підходи на основі використання онтологій Semantic Web для генерації баз знань в єдиному загальноприйнятому форматі з подальшою трансляцією на мову обгортки. Важливою відкритою задачею є розширення засобів представлення продукцій в згенерованих базах даних та додавання трансляторів на нові мови.

Складним з точки зору реалізації, але перспективними для обох напрямків, як механізму дослідження особливостей СЗЗ, так і для створення бенчмарків, близьких до прикладних задач, є метод генерації бази знань як результату навчання продукційної системи.

В рамках тестування алгоритмів співставлення зі зразком цей метод дозволяє виявити специфічні

випадки представлення баз знань в різних предметних областях. З точки зору загального тестування системи логічного висновування актуальною є задача міграції подібних бенчмарків на різні платформи зі збереженням початкової ефективності.

Обидва вищезгадані методи генерації баз знань доцільно використовувати для перевірки систем на масштабування.

Для базової перевірки ефективності алгоритму співставлення зі зразком необхідно генерувати ПС з заданими характеристиками часу виконання та структури бази знань. Класичні бенчмарки, такі як Waltz та Manners, дають уявлення про загальну ефективність алгоритму, однак є недостатніми для визначення передумов специфічної поведінки алгоритму в залежності від особливостей предметної області. В той же час, перевагою цих алгоритмів є можливість зміни навантаження на механізм виведення шляхом задання різних початкових умов.

Однак для цих задач пошук цільового висновку здійснюється або на графах простору станів (State Space Graphs), або за досить простими за структурою схемами.

Виокремивши характеристики баз знань та часу виконання, які впливають на ефективність роботи алгоритмів СЗЗ, можна зробити висновок, що їх аналіз потребує створення бенчмарків зі складною структурою лівої частини продукції. В той час, як обернену задачу спрощення формату розв'язують для продукційних моделей на основі пропозиційної логіки.

Наразі бракує тестових задач з можливістю регуляції кількості змінних, використання заперечень та кванторів.

Крім того, для наближення тестових задач до реальних, зокрема, необхідно, щоб поточний висновок приймався на основі заключень, отриманих на попередніх кроках різних напрямів пошуку. Тому структуру БЗ доцільно представляти як AND/OR-graph метаправил.

В [18] запропоновано тестову задачу за подібною схемою, яка дозволяє регулювати навантаження на механізм виведення шляхом задання різних варіантів початкових фактів робочої пам'яті.

Висновки

1. Визначено проблеми аналізу ефективності механізмів логічного виведення для прикладних систем різного типу.

2. Проведено аналіз та представлено концептуальні відмінності базових алгоритмів співставлення зі зразком, які впливають на вимоги до формування або вибору бенчмарків.

3. На основі проведеного аналізу представлено основні характеристики бенчмарків за для продукційних систем та систем Semantic Web.

4. Визначено основні підходи та методи формування бенчмарків.

Перспективним напрямком подальших досліджень вбачається створення нових тестових задач, які дозволять застосовувати представлення в термінах логіки першого порядку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Riley G. Rearchitecting CLIPS. Business Rules Knowledge Base. *October Rulefest 2008*. available at: http://bizrules.info/conference/ORF2008DFW/GaryRiley_RearchitectingCLIPS_ORF2008.pdf (last accessed 20.10.20).
2. Miranker D. P. Treat: A better match algorithm for AI production systems. *Artificial Intelligence: Sixth National Conference AAAI-87*. 1987. P.42—47.
3. Riley G. The CLIPS Implementation of the Rete Pattern Matching Algorithm. 2009. Corpus ID: 33742322
4. Bobek, S., Misiak, P. (2017), "Framework for Benchmarking Rule-Based Inference Engines", *Artificial Intelligence and Soft Computing, ICAISC 2017, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10246, Springer, Cham. P. 399-410. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-59060-8_36
5. S. Liang, P. Fodor, H. Wan, and M. Kifer, (2009), "OpenRuleBench: An analysis of the performance of rule engines", *Proc. 18th International Conference on World Wide Web*, P.601–610. DOI: <https://doi.org/10.1145/1526709.1526790>.
6. Rattanasawad, T., Buranarach, M., Saikaew, K.R., Supnithi, T. (2018), "A Comparative Study of Rule-Based Inference Engines for the Semantic Web", *IEICE Transactions on Information and Systems*, January 2018, P. 82-89. DOI: <https://doi.org/10.1587/transinf.2017SWP0004>
7. Шаповалова С.І., Мажара О.О. Вибір оптимального алгоритму співставлення зі зразком при проектуванні продукційної системи. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014, Вип.2/2(68). С. 43-49.
8. Forgy C. On the Efficient Implementation of Production System. *Ph.D. Dissertation. Carnegie Mellon University*. 1979. 210 p.
9. H. Cirstea C. Kirchner M. M., Moreau P. Production Systems and Rete Algorithm Formalisation. *Research Report: ILOG, INRIA*, 2004. URL: <https://hal.inria.fr/inria-00280938/file/rete.formalisation.pdf>.
10. Шаповалова С.І., Мажара О.О. Формалізація базових алгоритмів співставлення зі зразком в продукційних системах. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Вип.4/3(76). С. 22-27. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.46571
11. Ligeza A. Logical Foundations for Rule-Based Systems. *Studies in Computational Intelligence (SCI)*. 2006. 11.P.191-198.
12. Wright I. Marshall J. The execution kernel of RC++: RETE*, a faster RETE with TREAT as a special case. *Int. J. Intell. Games & Simulation 2 (1)*. 2003. P.36-48. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=R5EHCAAQBAJ>
13. Hicks R.C., Wright K. (2009), "Performance Testing of Propositional Logic Inference Engines", *Journal of Computer Information Systems*, Published online. Vol. 49, P. 122-126.
14. Doorenbos R. Production Matching for Large Learning Systems. *Ph.D. Dissertation. Carnegie Mellon University*. 1995. 208 p.
15. Hanson E.N., Hasan M.S. Gator: An optimized discrimination network for active database rule condition testing. *Tech. Rep. 93-036, CIS Department University of Florida*. 1993. 27 p.
16. Kim M., Lee K., Kim Y., T. Kim, Lee Y, Cho S., Lee C. RETE-ADH: An Improvement to RETE for CompositeContextAware Service. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2014 —11p. 69. DOI: 10.1155/2014/507160
17. Bouaud J., Zweigenbaum P. A reconstruction of conceptual graphs on top of a production system. *Conceptual Structures: Theory and Implementation Ed. by H. Pfeiffer, T. Nagle*. 1993. Vol. 754. P.125–136.
18. Shapovalova S. Generation of test bases of rules for the analysis of productivity of logical inference engine. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. No. 3(13). P. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.13.088>.

Received (Надійшла) 27.08.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.10.2020

Measuring efficiency of inference engines

S. Shapovalova, O. Mazhara

Abstract. The **subject** of research is the pattern matching algorithms that are used in software tools for developing rule-based systems. The goal of this work is to stipulate the characteristics for the selection and generation of benchmarks for pattern matching algorithms, depending on the specifics of the problems being solved. The following **tasks** have been fulfilled: determination of test task problematic, analysis of pattern matching algorithms, underlining the main approaches and methods of establishing benchmarks. The analyzed methods include Rete, Treat and their modifications, as well as approaches to the generation of benchmarks for analyzing the performance of pattern matching algorithms and rule-based systems. The following **results** were obtained. The concepts of basic pattern matching algorithms are presented to highlight significant characteristics that affect matching performance in terms of runtime and knowledge base structure. The definition of characteristics was done according to two approaches: the first approach relates to inference in systems based on rules (rule-base) and second one is used for systems of the Semantic Web. Basic test problems that are commonly used as benchmarks have been defined. The main benchmarks of the pattern matching algorithms are presented, with the corresponding definition of the specifics of their area of use. **Conclusions.** The problems of analyzing the efficiency of inference mechanisms for various types of applied systems are defined. The conceptual differences of the basic pattern matching algorithms are presented. Features which affect the requirements for the establishing or selection of benchmarks are identified. Based on the analysis, the main characteristics of benchmarks for productive systems and Semantic Web systems are provided. The main approaches and methods for the formation of benchmarks are defined. A promising direction for further research is the expansion of the proposed solution by the development of new solutions to enable representations of the generated knowledge bases in terms of first order logic.

Keywords: production systems, pattern matching, benchmarks, Rete.

А. О. Подорожняк, Н. Ю. Любченко, Г. В. Гейко

Національний технічний університет “Харківський політехнічний університет”, Харків, Україна

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ АВТОНОМЕРА

Анотація. Предметом дослідження є нейромережева система ідентифікації автомобільних номерів на зображеннях, отриманих за допомогою відеореєструючих засобів. Метою роботи є забезпечення процесу розпізнавання номерних знаків транспортних засобів в широких межах зміни кутів спостереження і рівнів освітленості. Завдання – дослідження нейромережевої системи розпізнавання автономерів на зображеннях, отриманих за допомогою засобів відеофіксації в широких межах зміни кутів спостереження і рівнів освітленості. Аналіз проблем методів та алгоритмів автоматизованого розпізнавання номерів автомобілів показав, що найбільш перспективно використовувати нейромережеві алгоритми, які підлаштовуються до зміни умов спостереження засобів контролю дорожнього руху. Рішення завдання розпізнавання автомобільних номерів можна представити у вигляді ряду підзадач, що включають в себе первинну обробку зображення, виявлення області номера на зображенні, сегментацію символів і розпізнавання символів.

Висновки: запропонована нейромережева система розпізнавання автономера, що дозволяє здійснювати пошук текстових областей під довільним кутом в різних умовах освітленості. Система дозволяє забезпечити розпізнавання автомобільних номерів в широких межах зміни відстані до автомобіля, кутів спостереження і рівнів освітленості.

Ключові слова: вимірювальна система, температурні вимірювання, мікропроцесорний вимірювач, обробка даних.

Вступ

Масова інтеграція інформаційних технологій під різні аспекти сучасного світу призвела до того, що транспортні засоби розглядаються як ресурси в інформаційних системах. Оскільки автономна інформаційна система не має значення без будь-яких даних, існує необхідність у реформуванні інформації про транспортні засоби між реальністю та інформаційною системою. Цього можуть досягти або люди або спеціальне інтелектуальне обладнання, яке дозволить ідентифікувати транспортні засоби за їх реєстраційними номерами у реальному середовищі.

В даний час в світі на дорогах знаходиться понад 1,2 мільярда автомобілів, а на території України понад 9 мільйонів одиниць (згідно результатів досліджень Міжнародної асоціації автовиробників (OICA) у 2015 році) [1].

У якості інтелектуального обладнання може виступати система виявлення та розпізнавання номерних знаків транспортних засобів. Система виявлення та розпізнавання номерних знаків транспортного засобу використовується для виявлення автономерів на зображеннях автомобілів, а потім робить розпізнавання автономера, тобто має розпізнати символи, зображені на номері (цифри та букви української та латинської абетки) [2, 3].

Система виявлення та ідентифікації номерних знаків є інтелектуальною системою, що може бути застосована у багатьох областях (паркування, управління рухом транспорту, виявлення порушників, передпродажна перевірка автомобілів, які вже були у вжитку тощо).

З урахуванням перерахованих факторів, виникає необхідність розробки нових і поліпшення існуючих алгоритмів виявлення та розпізнавання автономерів.

ючих алгоритмів виявлення та розпізнавання автономерів.

Мета статті. Дана стаття присвячена розробці та дослідженню моделі системи розпізнавання автономерів. Для досягнення поставленої мети поставлені наступні задачі: проведено вибір методів та алгоритмів для вирішення завдання розпізнавання автономерів, розроблено власну модель системи розпізнавання автономерів та досліджено розроблену систему розпізнавання автономерів.

Основна частина

Перед розглядом основних задач дослідження було розглянуто специфіку задач та умов функціонування системи розпізнавання автономерів в Україні. Особливостями функціонування таких систем в сучасних умовах є ймовірні недостатнє освітлення, наявність забруднень та великі геометричні спотворення пластин автономерів на зображеннях, що вимагає великих обчислювальних потужностей і особливих алгоритмів обробки [4, 5]. Детально було розглянуто особливості побудови та функціонування апаратних та програмних систем розпізнавання автономерів. Запропонована структурна схема системи розпізнавання номерів (рис. 1), яка повністю визначається основними етапами автоматичного розпізнавання [5].

Підсистема попередньої обробки необхідна підготовки зображення до розпізнавання (ми застосували фільтрацію високочастотних шумів на базі медіанної фільтрації та гаусове розмиття, після чого еквалізація гістограми для розширення можливого динамічного діапазону вхідних зображень. Для таких перетворень використали функції, що входять до складу бібліотеки OpenCV [6, 7].

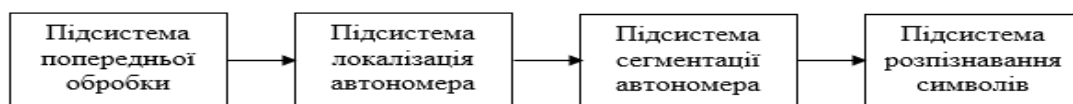


Рис. 1. Структурна схема системи розпізнавання автономерів

Знаходження об'єктів на зображенні або в відеопотоці – це завдання з області комп'ютерного зору, яка вирішується різними підходами, але найчастіше за допомогою, так званих, згорткових нейронних мереж [8-10]. Нам потрібно знайти не просто область на фотозображенні в якій зустрічається шуканий об'єкт (номерна пластина), але і відокремити усі його точки від інших об'єктів або фону. Цей різновид завдань називається «Instance Segmentation». Із сучасних архітектур згорткових мереж для задач сегментації часто використовують: U-Net або Mask R-CNN. Ми вибрали Mask R-CNN [11-13] (рис. 2).

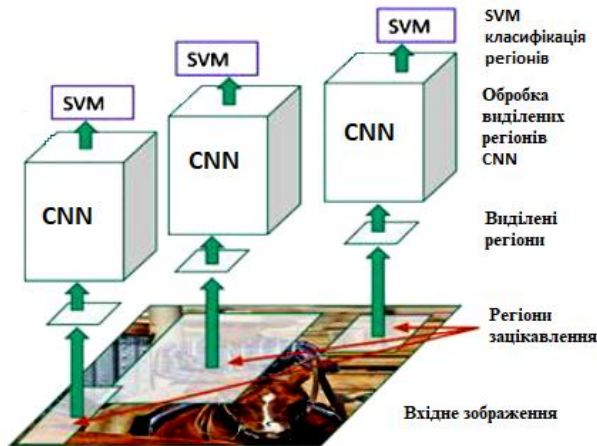


Рис. 2. Пояснення принципу локалізації номера та його сегментації нейромережею Mask R-CNN

На першому етапі вхідне зображення довільним чином розбивається на множину регіонів зацікавлення, які поступають на входи згорткових мереж (CNN, Convolution Neural Networks), які вирішують завдання місцезнаходження автономера на вхідному зображенні та формує на виході багатовимірний вектор ознак (4096 у нашому випадку). Отримані вектори ознак поступають на вхід класифікатора SVM (support vector machine,), лінійних класифікаторів на базі методу опорних векторів [14-16]. На виході Mask R-CNN нейромережі отримуємо місцеположення пластини автономера на фотозображенні автомобіля (рис. 3).



Рис. 3. Виділене коліром місцеположення пластини автономера на фотозображенні автомобіля

Далі – щоб нормалізувати область з номерним знаком (привести його в такий вид, при якому розпізнавання тексту буде можливим). Основну частину по «вирівнювання» тексту для подальшого розпізнавання робить алгоритм перспективної трансформації з бібліотеки OpenCV, але в той же час досить нелінійної є завдання визначення «опорних» точок, які подаються на вхід цього алгоритму. Перед класифікацією номерного знаку його потрібно «вирізати» із зображення і нормалізувати, іншими словами по максимуму прибрати всі спотворення і отримати акуратний прямокутник, який буде піддаватися подальшому аналізу. На наступному етапі проводимо перетворення чотирикутної області в прямокутну, тобто деформованої проєкційними спотвореннями чотирикутної області в прямокутну. Текст номера автомобіля розташований під деяким кутом щодо основного зображення, в зв'язку з цим пропонується використовувати афінні перетворення чотирикутної області в прямокутну. Останнє можна здійснити при використанні формул перетворення точки з однієї двомірної площини xu в іншу $x'u$ [5]:

$$x' = \frac{a \cdot x + b \cdot y + c}{g \cdot x + h \cdot y + 1}, \quad y' = \frac{d \cdot x + e \cdot y + f}{g \cdot x + h \cdot y + 1}, \quad (1)$$

де a, b, c, d, e, f, g, h – коефіцієнти перетворення.

Знаючи координати 4-х точок області яка перетворюється, а також координати 4-х точок прямокутної області, представлені на рис. 4, підставляємо їх у формулу (1), отримуємо з кожної пари точок по два рівняння, таким чином, з 4-х пар точок виходить 8 рівнянь з 8-ма невідомими. Вирішуючи цю систему, отримуємо шукані коефіцієнти a, b, c, d, e, f, g, h . Підставляємо їх в (1) і отримуємо формули для перетворення чотирикутної області в прямокутну.

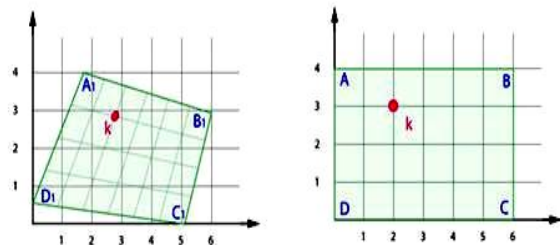


Рис. 4. Пояснення процесу перетворення довільної чотирикутної області номера в прямокутну

На рис. 5 представлений результат перетворення фрагмента зображення автономера з певними вершинами чотирикутної області, що обмежують область, що відповідає номеру транспортного засобу, в прямокутну область, придатну для подальшої сегментації і розпізнавання одиночних символів.



Рис. 5. Результат перетворення фрагмента зображення автономера у прямокутну область, придатну для подальшої сегментації і розпізнавання одиночних символів

Ще один інструмент, який використовуємо – це бібліотека з розпізнавання текстів, яка б могла працювати з різними мовами і яку можна легко налаштувати під специфіку автономерів, які ми будемо розпізнавати. Застосовуємо бібліотеку Tesseract від Google [16-18]. Подаючи на її вхід оброблене прямокутне зображення номеру – отримуємо розпізнані букви і цифри номеру AX0763AH.

У підсумку, було побудовано модель системи розпізнавання автономерів.

У ході дослідження було отримано обмеження розробленої моделі: розрізнення фото повинно бути не менше 300x300, максимальна роздільна здатність обмежується продуктивністю комп'ютера (при використанні GPU Nvidia, то при розрізненні вхідного зображення 1920x1080 точок розпізнавання займе часу близько 500 ms / зображення, тоді як на звичайному CPU будуть одиниці-десятки секунд на одне зображення); імовірність розпізнавання дорівнює майже 1, якщо розмір знайденого номерного знаку на зображенні по вертикалі має 32 і більше точок, межі номера знаходяться навіть при сильному повороті (до 70 градус), розмите або зашумлене зображення буде розпізнаватися набагато гірше.

Для зменшення часу розпізнавання номеру автомобіля розроблену систему було розгорнуто на сторонньому сервері (Montreal data centers) із такими базовими характеристиками: два процесори Intel

(R) Xeon (R) CPU E5-2630 v4 @ 2.20GHz; оперативна пам'ять – 128GB; жорсткий диск – два SSD 1.9TB в апаратному рейді; мережеві характеристики – два порти по 100 Mbps.

Оцінка якості роботи системи розпізнавання автономера проводиться на тестовій вибірці. У якості критерію ефективності було обрано оцінку ймовірності правильного розпізнавання всіх символів автономеру P_{np} , яка оцінювалася за формулою [17] (2):

$$P_{np} = n_{npX} / N_X, \quad (2)$$

де n_{npX} – кількість правильно розпізнаних автомобільних номерів на зображеннях з вибраним кутом зйомки X ; N_X – загальна кількість зображень з вибраним кутом зйомки X ; X – кут зйомки фотозображення автомобіля (у градусах).

Порівняння якості розпізнавання автономера проводилося у співвідношенні до програми SeeAuto.USA [19].

На рис. 6 представлено отриману залежність оцінки ймовірності правильного розпізнавання всіх символів автономеру P_{np} для розробленої системи та програми SeeAuto.USA на тестовій вибірці (складалася з 800 фотозображень автомобілів, по 100 зображень для кутів зйомки 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70) градусів. Результуюча якість класифікації досліджуваної системи склала 96 відсотків для кутів зйомки менше 63 градусів.

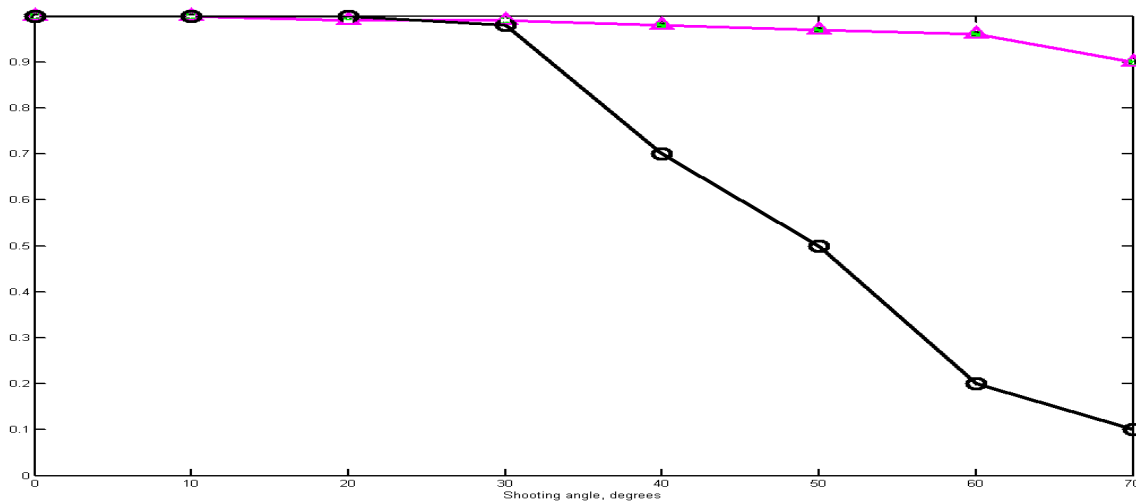


Рис. 6. Графік оцінки ймовірності правильного розпізнавання всіх символів автономеру P_{np} для досліджуваної системи та програми SeeAuto.USA

Представлені результати показують, що розроблена система розпізнавання автономерів має значно кращі характеристики якості від програми SeeAuto.USA для великих значень кута зйомки номерної пластини автономера (понад 30 градусів), на малих значеннях кутів зйомки характеристики систем майже співпадають.

При куті зйомки понад 70 градусів ймовірність правильного розпізнавання менше ніж 0,9.

Висновки

В статті наведені модель та досліджено ефективність розробленої моделі нейромережевої систе-

ми розпізнавання автономерів. Застосовані технології дозволили організувати процес розпізнавання номерного знаку автомобіля на віддаленому сервері.

Для покращення показників якості було використано сучасну модель нейромережі сегментації та детектування об'єктів Mask R-CNN, навчену на великій кількості реальних зображень автомобілів, що підтверджується отриманими результатами у співставленні із існуючими сучасними рішеннями.

Результати дослідження можуть бути застосовані при розробці нових, та модифікації існуючих систем розпізнавання номерів транспортних засобів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA). [Електронний ресурс] Режим доступу: www.oica.net/wp-content/uploads//Total_in-use-All-Vehicles.xls.
2. Кийко В.М. Локализация и распознавание автомобильных номеров на изображениях / В.М. Кийко // Управляющие системы и машины. – 2017. – № 6. – С. 26-40. – doi: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.06.026>.
3. Любченко Н.Ю. Метод автоматизированной идентификации автомобильных номеров на основе обработки одноразовых изображений / Н.Ю. Любченко, А.А. Наконечный, А.О. Подорожняк // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – Харків: ХНАДУ. – Вип. 61-62 – 2013. – С. 292-295.
4. ДСТУ 4278:2019 Дорожній транспорт. Знаки номерні транспортних засобів. Загальні вимоги. Чинний від 16.03.2020. – Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2020. – 31 с.
5. Liubchenko N. Automation of vehicle plate numbers identification on one-aspect images / N. Liubchenko, O. Nakonechnyi, A. Podorozhniak, H. Siulieva // Advanced Information Systems. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2018 – Vol.2, N.1. – pp. 52 – 55. – doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.10>.
6. Szeliski R. Computer Vision. Algorithms and Applications / R. Szeliski. – London: Springer -Verlag, 2011. – 812 p. – doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0>.
7. Rosebrock A. OpenCV: Automatic License/Number Plate Recognition (ANPR) with Python. [Електр. ресурс] Режим доступу: <https://www.pyimagesearch.com/2020/09/21/opencv-automatic-license-number-plate-recognition-anpr-with-python/>.
8. LeCun, Y. Convolutional Networks and Applications in Vision / Y. LeCun, K. Kavukcuoglu, C. Farabet // Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS'10), IEEE, Paris, 2010, pp. 253–256. – doi: <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537907>.
9. Podorozhniak A. Neural network approach for multispectral image processing / A. Podorozhniak, N. Liubchenko, O. Balenko, D. Zhuikov // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018) February 20 – 24, 2018. – Lviv-Slavske, Ukraine: proc. – Lviv, 2018. – P. 978-981. – doi: <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336357>.
10. Li H. Toward end-to-end car license plate detection and recognition with deep neural networks / H. Li, P. Wang, C. Shen // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2019. – Vol. 20, Is. 3. – pp. 2351–2363. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2639020>.
11. Abdulla W. Mask R-CNN for object detection and instance segmentation on keras and tensorflow / W. Abdulla. – 2017. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://github.com/matterport/Mask_RCNN.
12. Uijlings J.R.R. Selective Search for Object Recognition / J.R.R. Uijlings, K.E.A. van de Sande, T. Gevers, A.W.M. Smeulders // International Journal of Computer Vision. – 2013. – Is. 104. – pp. 154–171. doi: <https://doi.org/10.1007/s11263-013-0620-5>.
13. Girshick R. Region-Based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation / R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – Vol. 38, Is. 1. – pp. 142–158. doi: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2015.2437384>.
14. Святюк Д.Р. Застосування згорткових нейронних мереж для безпеки розпізнавання об'єктів у відеопотоці / Д.Р. Святюк, О.Р. Святюк, О.І. Белей // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – 2020. – № 4 (8). – С. 97-112. – doi: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2020.8.97112>.
15. Selmi Z. DELP-DAR system for license plate detection and recognition / Zied Selmi, Mohamed Ben Halima, UmapadaPal, M. Adel Alimi // Pattern Recognition Letters. – 2020 – Vol. 129, pp. 213-223. – doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2019.11.007>.
16. Распознавание номеров. Практическое пос. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/432444/>.
17. Томилов А.А. Обзор средств распознавания государственного регистрационного знака автомобиля / А.А. Томилов // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация управления». – Омск: ОГТУ. – 2019. – С. 320-326.
18. Bulan O. Segmentation-and annotation-free license plate recognition with deep localization and failure identification / O. Bulan, V. Kozitsky, P. Ramesh; M. Shreve // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2017. – Vol. 18, Is. 9. – pp. 2351–2363. doi: <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2639020>.
19. Контролируй парковку с SeeAuto. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://ff-group.org/> контролируй-парковку-с-seeauto.

Received (Надійшла) 01.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.11.2020

Neural network system for license plates recognizing

A. Podorozhniak, N. Liubchenko, H. Heiko

Abstract. The subject of this research is the neural network system of identification of car license plates on images obtained by means of video recording means. The purpose of this work is to ensure the process of recognition of license plates of vehicles in a wide range of changing angles of observation and light levels. The task is to study the neural network system for recognizing license plates on images obtained by means of video recording in a wide range of changes in the angles of observation and light levels. The analysis of problems of methods and algorithms of automated recognition license plates of cars has shown that it is most perspective to use neural network algorithms which are adjusted to change of conditions of supervision of means of traffic control. The solution to the problem of recognizing car license plates can be presented in the form of a number of subtasks, which include primary image processing, detection of the area of the license plate in the image, character segmentation and character recognition. Conclusions: the proposed neural network system for license plate recognition, which allows you to search for text areas at any angle in different lighting conditions. The system allows you to recognize car license plates in a wide range of changes in distance to the car, viewing angles and light levels.

Keywords: measuring system, temperature measurement, microprocessor meter, data processing.

Г. В. Іванець¹, М. Г. Іванець², В. В. Матухно¹, І. О. Толкунов¹, Є. І. Стецюк¹, І. І. Попов¹

¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

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

ФОРМАЛІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА МОЖЛИВИХ ЗАВДАНИХ ЗБИТКІВ ВНАСЛІДОК НИХ

Анотація. Актуальність. Попередження надзвичайних ситуацій ґрунтується на аналізі, прогнозуванні загроз виникнення надзвичайних ситуацій та їх можливих наслідків як в державі, так і її регіонах. При цьому прогнозування надзвичайних ситуацій повинне бути спрямованим на регулювання техногенної, природної та соціальної безпеки в країні, оцінку загрози виникнення надзвичайних ситуацій та їх можливих наслідків. **Мета.** Розробка формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих збитків внаслідок них. **Метод.** Системний підхід до вирішення проблеми прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків передбачає прогнозування надзвичайних ситуацій в цілому по державі та її регіонах; прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями в державі; прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру; прогнозування надзвичайних ситуацій соціального характеру за видами та рівнями і прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій у державі. **Результати.** Розроблено формалізовану математичну модель прогнозування надзвичайних ситуацій, можливих завданих збитків внаслідок них та керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель. **Висновки.** Формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завданих збитків внаслідок них включає математичні моделі прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій в державі; прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій в регіонах держави, прогнозування надзвичайних ситуацій за характером, видами та рівнями як в державі в цілому, так і її регіонах; прогнозування можливих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій. Отримані результати дослідження є фундаментом для обґрунтування організаційно-технічних заходів щодо реагування на надзвичайні ситуації з метою їх попередження і мінімізації можливих наслідків.

Ключові слова: формалізована математична модель, керуючий алгоритм, надзвичайна ситуація, характер, вид, рівень надзвичайної ситуації, збитки від надзвичайних ситуацій.

Номенклатура

НС – надзвичайна ситуація;
 $n_{НС}(t)$ – кількість НС в державі;
 $(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)$ – параметри функції;
 $n_{НС}^i(t)$ – кількість НС в i -му регіоні;
 $P_{НС}^i$ – ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі;
 $n_{ТХ}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)$ – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру;
 $P_{ТХ}, P_{ПХ}, P_{СХ}$ – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;
 $l_i(t), v_i(t), r_i(t)$ – кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;
 $P_{ТХ_i}, P_{ПХ_i}, P_{СХ_i}$ – ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру i -го виду в державі;
 $n_{ТХ}^i(t), n_{ПХ}^i(t), n_{СХ}^i(t)$ – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні;

$P_{ТХ}^i, P_{ПХ}^i, P_{СХ}^i$ – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)$ – кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів;

$P_{DP}, P_{PP}, P_{MP}, P_{OP}$ – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі.

Вступ

Останнім часом у всьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення протиріч між людиною і оточуючим його природним середовищем (катастрофи на атомних станціях, значні повені, цунамі, торнадо, землетруси і т.п.). Все це приводить до виникнення НС різного характеру, наслідки яких негативно впливають на економіку країни та життєдіяльність населення.

Так, наприклад, тільки за період з 2014 по 2018 рік в Україні виникло 795 НС, внаслідок яких загинуло 1266 людей, постраждало 5213 людей, нанесено матеріальних збитків державі на 1599 млн. грн. [1, 2].

Попередження НС – це сукупність заходів законотворчого, економічного, адміністративного, технічного та іншого характеру, спрямованих на виявлення та вивчення причин виникнення НС різного характеру, прогнозування їх розвитку, розробку і реалізацію заходів, які забезпечують їх усунення або нейтралізацію [3-5]. Попередження НС ґрунтується на аналізі, прогнозуванні загроз виникнення НС та їх можливих наслідків як в державі, так і її регіонах.

При цьому прогнозування НС повинне бути спрямованим на регулювання техногенної, природної та соціальної безпеки в країні, оцінку загрози виникнення НС та їх можливих наслідків.

Тому, прогнозування загроз виникнення НС та можливих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків є актуальною науково-практичною проблемою в сфері цивільного захисту.

Прогнозування НС різного характеру та наслідків внаслідок них здійснюється на основі аналізу статистичної інформації про НС в державі за деякий попередній період моніторингу. При прогнозуванні НС [6,7] розглядають:

- статистичну інформацію про техногенні і природні джерела НС;
- можливі варіанти виникнення і розвитку НС;
- результати екстраполяції виявлених тенденцій;
- експертні оцінки.

Прогнозування НС різного характеру має свої рівні складності, наприклад природні НС несуть велику складову невизначеності на відміну від техногенних НС, які в основному залежать від стану техніки і людського фактору і піддаються формалізованим розрахункам.

1. Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них;
- запропонувати керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель.

2. Огляд літератури

Аналіз літературних джерел із зазначеної проблематики показує, що прогнозування процесів виникнення НС базуються на імовірнісно-статистичному, імовірнісно-детермінованому і детерміновано-імовірнісному підходах [8,9,10].

Для прогнозування НС техногенного та природного характеру в більшості випадків застосовують імовірнісний підхід, який найкращим чином забезпечує обґрунтованість оцінок і дозволяє враховувати кумулятивний ефект багатьох джерел невизначеності [11,12]. Основний недолік імовірнісного підходу – складність розробки моделей процесів виникнення НС, що значно ускладнює проведення аналізу розвитку даних процесів в динаміці.

Варіантом подолання цих незручностей може бути використання регресійних методів аналізу, які використовують статистичні дані за деякий попередній період моніторингу. Існує множина варіацій регресії: лінійні, нелінійні, ступеневі, порядкові і так далі [13,14]. До переваг даних моделей відносять простоту, гнучкість, а також однозначність їх аналізу і проектування.

При застосуванні лінійних регресійних моделей результат прогнозу можна одержати значно швидше, чим при застосуванні інших моделей. Крім того, перевагою є прозорість моделювання, тобто доступність для аналізу всіх проміжних розрахунків. Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність спроможності моделювання нелінійних процесів. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей є складність визначення виду функціональної залежності, а також труднощі визначення параметрів моделі.

Для моделювання нелінійних процесів, таких як процеси виникнення техногенних та природних НС, зручно використовувати нейромережеві моделі [15]. Основною перевагою нейромережевих моделей є не лінійність, тобто властивість встановлювати нелінійні залежності між майбутніми і фактичними значеннями процесів. Недоліками таких моделей є відсутність прозорості моделювання, складність вибору архітектури та алгоритму навчання нейронної мережі.

Для прогнозування НС соціального характеру застосовують методи експертних оцінок та соціологічних досліджень, в меншій мірі досліджені статистико-імовірнісні методи, які використовують дані за деякий попередній період моніторингу [16].

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел щодо прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них показує, що вони спрямовані в основному на прогнозування окремих видів НС техногенного та природного характеру і не дозволяють реалізувати системний підхід щодо прогнозу НС та збитків внаслідок них, який дозволяє здійснювати прогноз НС в цілому, за видами та рівнями, можливі нанесені збитки як в державі, так і її регіонах.

Це вказує на необхідність розробки формалізованої математичної моделі прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах на основі системного підходу до вирішення цієї проблеми.

3. Матеріали і методи

Проведемо розробку формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них.

Інформація в останні роки стає основою процесу підготовки управлінських рішень на різних рівнях управління і забезпечує адекватне наявним умовам прогнозування, планування та реагування на НС різного характеру. Інформація містить відомості про прогнозовані й такі, що вже виникли НС техногенного, природного й соціального характеру та їх наслідки.

Інформаційно-аналітичне забезпечення органів виконавчої влади для підтримки прийняття рішень як на державному так і регіональному рівнях із метою вживання заходів щодо попередження, адекватного реагування та ліквідації НС різного характеру вимагають аналітичних досліджень щодо прогнозування можливого процесу виникнення НС та наслідків від них.

Прогнозування уявляє собою дослідницький процес, у результаті якого одержують імовірні дані про НС та їх наслідки на основі аналізу їх розвитку з урахуванням цілого ряду факторів, які впливають на динаміку виникнення НС.

Математична модель прогнозування надзвичайної ситуації та наслідків внаслідок них уявляє собою систему співвідношень та рівнянь в математичній формі, які відображають найбільш важливі особливості й властивості даних процесів з метою аналізу та прогнозування їх виникнення, розвитку та наслідків.

Вхідну інформаційну основу для проведення аналізу та прогнозування НС та наслідків внаслідок них складають статистичні дані моніторингу НС за деякий період часу.

Процес виникнення НС в державі описують деякою адекватно вибраною функцією регресії:

$$n_{НС}(t) = U_1(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k, t), \quad (1)$$

де $n_{НС}(t)$ - кількість НС в державі; $(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)$ - параметри функції.

Процес виникнення НС в регіонах в разі виникнення НС в державі описується функцією виду:

$$n_{НС}^i(t) = U_2 \{n_{НС}(t), P_{НС}^i\}, \quad (2)$$

де $n_{НС}^i(t)$ - кількість НС в i -му регіоні; $P_{НС}^i$ - ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$\sum P_{НС}^i = 1 \quad \sum P_{НС}^i = 1$$

За характером походження НС розділяються на техногенні, природні та соціальні. Процес їх виникнення описується функціями, які залежать від кількості НС та ймовірностей виникнення НС відповідного характеру в державі:

$$n_{ПХ}(t) = F_2 \{n_{НС}(t), P_{ПХ}\} \quad n_{ПХ}(t) = F_2 \{n_{НС}(t), P_{ПХ}\} \quad (3)$$

$$n_{СХ}(t) = F_3 \{n_{НС}(t), P_{СХ}\},$$

де $n_{ТХ}(t)$, $n_{ПХ}(t)$, $n_{СХ}(t)$ - кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру; $P_{ТХ}$, $P_{ПХ}$, $P_{СХ}$ - ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{ТХ} + P_{ПХ} + P_{СХ} = 1 \quad P_{ТХ} + P_{ПХ} + P_{СХ} = 1$$

За видами НС техногенного, природного та соціального характеру в державі є функціями від загальної кількості НС відповідного характеру та ймовірностей виникнення надзвичайної ситуації даного виду:

$$v_i(t) = \Psi_2 \{n_{ПХ}(t), P_{ПХ_i}\} \quad v_i(t) = \Psi_2 \{n_{ПХ}(t), P_{ПХ_i}\}; \quad (4)$$

$$r_i(t) = \Psi_3 \{n_{СХ}(t), P_{СХ_i}\},$$

де $l_i(t)$, $v_i(t)$, $r_i(t)$ - кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі; $P_{ТХ_i}$, $P_{ПХ_i}$, $P_{СХ_i}$ - ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру i -го виду в державі.

Необхідні умови:

$$\sum P_{ТХ_i} = 1; \quad \sum P_{ПХ_i} = 1; \quad \sum P_{СХ_i} = 1.$$

Процес виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру в регіонах держави описується функціями:

$$n_{ПХ}^i(t) = S_2 \{n_{ПХ}(t), P_{ПХ}^i\} \quad n_{ПХ}^i(t) = S_2 \{n_{ПХ}(t), P_{ПХ}^i\}; \quad (5)$$

$$n_{СХ}^i(t) = S_3 \{n_{СХ}(t), P_{СХ}^i\},$$

де $n_{ТХ}^i(t)$, $n_{ПХ}^i(t)$, $n_{СХ}^i(t)$ - кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні; $P_{ТХ}^i$, $P_{ПХ}^i$, $P_{СХ}^i$ - ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$\sum P_{ТХ}^i = 1; \quad \sum P_{ПХ}^i = 1; \quad \sum P_{СХ}^i = 1.$$

За рівнями НС розділяються на державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівні. Процес виникнення НС відповідного рівня в державі описується функціями:

$$n_{PP}(t) = Q_2 \{n_{НС}(t), P_{PP}\} \quad n_{PP}(t) = Q_2 \{n_{НС}(t), P_{PP}\};$$

$$n_{MP}(t) = Q_3 \{n_{НС}(t), P_{MP}\} \quad n_{MP}(t) = Q_3 \{n_{НС}(t), P_{MP}\}; \quad (6)$$

$$n_{OP}(t) = Q_4 \{n_{НС}(t), P_{OP}\},$$

де $n_{DP}(t)$, $n_{PP}(t)$, $n_{MP}(t)$, $n_{OP}(t)$ - кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів; P_{DP} , P_{PP} , P_{MP} , P_{OP} - ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{DP} + P_{PP} + P_{MP} + P_{OP} = 1.$$

Функції, що описують процеси виникнення НС за рівнями в регіонах держави мають вид:

$$\begin{aligned} n_{PP}^i(t) &= \Phi_2 \left\{ n_{PP}(t), P_{PP}^i \right\} \\ n_{MP}^i(t) &= \Phi_3 \left\{ n_{MP}(t), P_{MP}^i \right\} \\ n_{OP}^i(t) &= \Phi_4 \left\{ n_{OP}(t), P_{OP}^i \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $n_{DP}^i(t)$, $n_{PP}^i(t)$, $n_{MP}^i(t)$, $n_{OP}^i(t)$ - кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі; P_{DP}^i , P_{PP}^i , P_{MP}^i , P_{OP}^i - ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі.

Необхідні умови:

$$\sum P_{DP}^i = 1; \sum P_{PP}^i = 1; \sum P_{MP}^i = 1; \sum P_{OP}^i = 1.$$

Збитки внаслідок НС визначаються кількістю НС за рівнями в державі:

$$ЗБ(t) = \Theta \{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\}. \quad (8)$$

З урахуванням вище викладеного шукана математична модель визначається системою залежностей (1) - (8):

$$\left. \begin{aligned} n_{HC}(t) &= U_1 \{n_0, n_1, n_2, \dots, t\}; \\ n_{HC}^i(t) &= U_2 \{n_{HC}(t), P_{HC}^i\}; \\ n_{TX}(t) &= F_1 \{n_{HC}(t), P_{TX}\}; \\ n_{PX}(t) &= F_2 \{n_{HC}(t), P_{PX}\}; \\ n_{CX}(t) &= F_3 \{n_{HC}(t), P_{CX}\}; \\ l_i(t) &= \Psi_1 \{n_{TX}(t), P_{TX_i}\}; \\ v_i(t) &= \Psi_2 \{n_{PX}(t), P_{PX_i}\}; \\ r_i(t) &= \Psi_3 \{n_{CX}(t), P_{CX_i}\}; \\ n_{TX}^i(t) &= S_1 \{n_{TX}(t), P_{TX}^i\}; \\ n_{PX}^i(t) &= S_2 \{n_{PX}(t), P_{PX}^i\}; \\ n_{CX}^i(t) &= S_3 \{n_{CX}(t), P_{CX}^i\}; \\ n_{DP}(t) &= Q_1 \{n_{HC}(t), P_{DP}\}; \\ n_{PP}(t) &= Q_2 \{n_{HC}(t), P_{PP}\}; \\ n_{MP}(t) &= Q_3 \{n_{HC}(t), P_{MP}\}; \\ n_{OP}(t) &= Q_4 \{n_{HC}(t), P_{OP}\}; \\ n_{DP}^i(t) &= \Phi_1 \{n_{DP}(t), P_{DP}^i\}; \\ n_{PP}^i(t) &= \Phi_2 \{n_{PP}(t), P_{PP}^i\}; \\ n_{MP}^i(t) &= \Phi_3 \{n_{MP}(t), P_{MP}^i\}; \\ n_{OP}^i(t) &= \Phi_4 \{n_{OP}(t), P_{OP}^i\}; \\ ЗБ(t) &= \Theta \{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Таким чином, формалізована математична модель процесів виникнення НС та можливих збитків внаслідок них уявляє собою систему з 20 аналітичних залежностей. Перша описує в цілому процес виникнення НС в державі. Друга показує залежність НС в регіонах від НС в державі. Третя, четверта та п'ята дозволяють визначити НС за характером походження в разі виникнення НС в державі. Шоста, сьома та восьма характеризують НС за видами в разі виникнення техногенних, природних та соціальних НС в державі. Дев'ята, десята та одинадцята показують розподіл НС за характером в регіонах в разі виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі. Дванадцята, тринадцята, чотирнадцята та п'ятнадцята характеризують НС за рівнями в разі виникнення НС в державі. Шістнадцята, сімнадцята, вісімнадцята та дев'ятнадцята показують розподіл НС за рівнями в регіонах в разі виникнення НС відповідного рівня в державі. Двадцята характеризує можливі збитки внаслідок НС.

На основі розробленої формалізованої математичної моделі розробляємо керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них. Керуючий алгоритм, який реалізує розроблену формалізовану математичну модель процесів виникнення НС та можливих збитків внаслідок них представлений на рис. 1.

Алгоритм складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях. Перший рівень складає блок збору та обробки статистичної інформації про НС за деякий період моніторингу. На другому рівні розміщений блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером, видами та рівнями в державі. На третьому рівні розміщений блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером та рівнями в регіонах держави. На четвертому рівні розміщений блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями та видами в державі. На п'ятому рівні розміщений блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером і рівнями в регіонах держави. На шостому рівні розміщений блок прогнозування можливих завданих збитків внаслідок НС. Сьомий рівень складає блок формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ за призначенням та блок оцінки ефективності і корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів ЦЗ. Таким чином, керуючий алгоритм реалізує розроблену формалізовану математичну модель та складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.

4. Обговорення

В результаті проведених досліджень розроблена формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них. Вона реалізує системний підхід до вирішення проблеми прогнозування надзвичайних ситуацій, який дозволяє здійснювати прогноз надзвичайних ситуацій в цілому, за видами та рівнями, можливі нанесені збитки як в державі так і її регіонах.

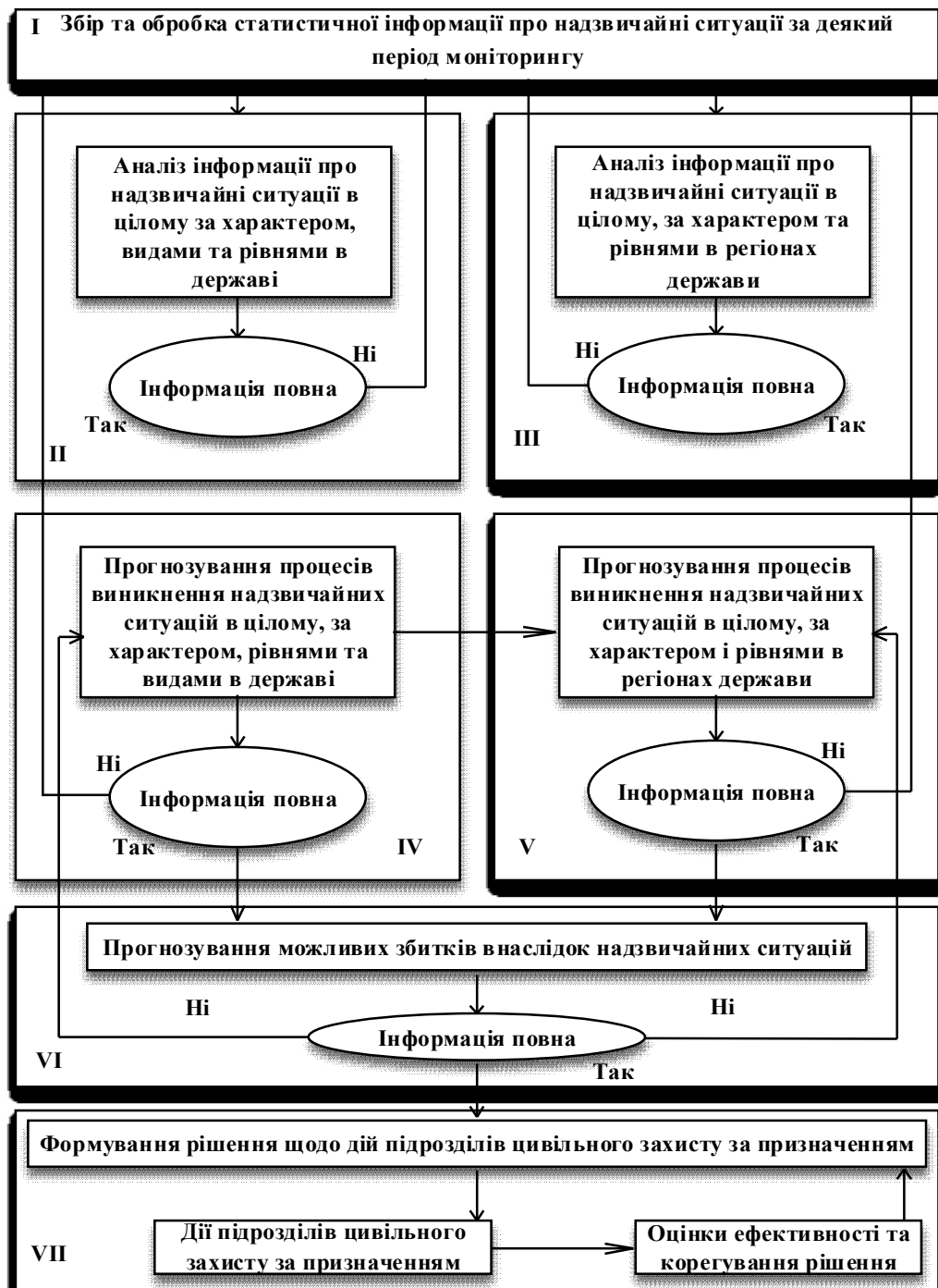


Рис. 1. Керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі

Формалізована математична модель включає математичні моделі прогнозування надзвичайних ситуацій за характером походження видами, рівнями та можливих наслідків внаслідок них як в державі в цілому так і її регіонах.

Подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані на дослідження взаємозв'язків причин виникнення надзвичайних ситуацій в різних регіонах держави.

Висновки

1. Розроблено формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них, яка включає математичні моделі

прогнозування НС в цілому по державі та її регіонах; прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями в державі; прогнозування НС техногенного характеру; прогнозування НС соціального характеру за видами та рівнями і прогнозування збитків внаслідок НС у державі. Це реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок

них. Його використання передбачає виконання наступних процедур: збір, обробка та аналіз інформації про НС в державі за деякий попередній період моніторингу; прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями та видами в державі; прогнозування НС в цілому, за характером і рівнями в регіонах держави; прогнозування мож-

ливих збитків внаслідок НС; формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ з метою адекватного реагування на НС та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування. Він складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2018 році. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018\(KM\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018(KM).pdf).
2. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2017 році. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(KMY).pdf) (дата доступу: 08.08.2018).
3. Tiutiunyk V.V., Ivanets H.V., Tolkunov I.A., Stetsiuk E.I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. Scientific Bulletin of National Mining University. Vol. 1. Is. 1 (163). Pp. 99-105.
4. Голован Ю.В., Козырь Т.В. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационно-методический комплекс. Издательство «Проспект», Дальневосточный государственный технический университет. 2015. 219 с.
5. Nivolianitou Z., Synodinou B. (2011). A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. Journal of Environmental Management. Vol. 92. Issue. 10. pp. 2657-2665. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003>.
6. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №10. С. 60-71.
7. Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M., D. Baulin, Tolkunov I., Gleizer N., Nakonechnyi A. (2018). Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 5. Issue 10(95). pp. 48-55. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.
8. Баскин Ю.Г., Горбунов А.А., Савельев Ю.С. Предупреждение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Проблемы управления рисками в техносфере. СПб №3. СПб УГПС МЧС России, 2014.
9. Deng, S.C., Wu, Q., Shi, B., et al. (2014) Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. China Safety Science Journal Vol. 24. pp 79-84.
10. Tsurikov A.N. (2013). Application of artificial neural network for identification of stability of bottom layer of atmosphere. Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 2nd International Academic Conference. Publishing House «Science and Innovation Center». St. Louis, Missouri, USA. pp. 226-231.
11. Vasiliev M., Movchan I., Koval O. (2014). Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Issue 5. pp. 106–113.
12. Mygalenko, K., Nuyanzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1 (10(91)). Pp. 31–37. doi: [10.15587/1729-4061.2018.121727](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727).
13. Pradhan R.P., Kumar R. (2010). Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. Journal of Mathematics Research. Vol. 2. No.4. pp. 111-117.
14. Sun, B.Z., Ma, W.M. and Zhao, H.Y. (2013). A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. Applied Mathematical Modeling Vol. 37. pp. 7062-7070. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>.
15. Al-Jumeily D., Ghazali R. (2014). Hussain A. Predicting physical time series using dynamic ridge polynomial neural networks. PLoS ONE. №9: e105766. doi: [10.1371/journal.pone.0105766](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105766).
16. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. Москва, БИНОМ. Лаборатория знаний. 2015. 291 с.

Received (Надійшла) 12.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.11.2020

Formalized mathematical model for forecasting emergency situations and possible damage caused by them

H. Ivanets, M. Ivanets, V. Matukhno, I. Tolkunov, Ye. Stetsiuk, I. Popov

Abstract. Relevance. Prevention of emergencies is based on analysis, forecasting of threats of emergencies and their possible consequences both in the state and in its regions. At the same time, forecasting emergencies should be aimed at regulating man-made, natural and social security in the country, assessing the threat of emergencies and their possible consequences. **Objective.** Development of a formalized mathematical model for predicting emergencies and possible losses because of them. **Method.** A systematic approach to solving the problem of predicting emergency situations and possible losses caused as a result of them both in the state and its regions in order to prevent their occurrence or minimize possible consequences involves forecasting emergency situations in the country as a whole and its regions; forecasting natural emergencies in general, by types and levels in the state; forecasting emergency situations of a technogenic nature; forecasting emergency situations of a social nature by type and level and forecasting losses due to emergency situations in the state. **Results.** A formalized mathematical model for forecasting emergencies, possible losses caused because of them and a control algorithm that implements the developed mathematical model has been developed. **Conclusions.** A formalized mathematical model for predicting emergencies and possible losses caused as a result of them includes mathematical models for predicting the process of emergencies in the state; forecasting the process of emergencies in the regions of the state, forecasting emergencies by nature, types and levels both in the state as a whole and in its regions; forecasting possible losses as a result of emergency situations. The obtained results of the study are the foundation for substantiating organizational and technical measures for responding to emergencies in order to prevent them and minimize possible consequences.

Keywords: formalized mathematical model, control algorithm, emergency, nature, type, level of emergency, losses from emergencies.

Н. В. Касаткіна¹, Л. О. Левченко², О. М. Тихенко³

¹ Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

² Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

³ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ КОМПОЗИЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Анотація. Розроблено засади проектування магнітних та електромагнітних екранів для забезпечення електромагнітної сумісності електричного та електронного обладнання особливо важливих об'єктів. Показано, що для підвищення стабільності роботи обладнання, яке забезпечує важливі функції (керування повітряним рухом, робота електрогенеруючих підприємств тощо) доцільно екранувати технічні засоби та окремі їх компоненти. На прикладі розроблення циліндричної захисної конструкції наведено основні засади проектування. Доведено, що для проектування захисної конструкції необхідно мати дані щодо реальної електромагнітної обстановки. Це дає можливість визначити мінімально необхідний коефіцієнт екранування, виходячи з нормативів щодо стійкості електронного обладнання до електромагнітних впливів. На основі коефіцієнта екранування, виходячи з відомих функцій були отримані значення електрофізичних параметрів екрануючого матеріалу. Ці параметри отримані зміною концентрації та товщини екрануючої конструкції. Цей етап є обов'язковим через відсутність даних щодо електрофізичних та магнітних властивостей композиційних матеріалів у довідковій літературі. Для спрощення та прискорення проектних робіт доцільно отримати апроксимації щодо зміни характеристик матеріалу зі зміною захисних властивостей. Наведено розрахунок з використанням пакету Comsol ефективної магнітної проникності металополімерного матеріалу у залежності від його складу (співвідношення вмісту екрануючої субстанції та полімеру). Цей параметр обумовлює коефіцієнт екранування, отриманий експериментально. Показано, що для екранування великих площ (окремих приміщень) потрібно враховувати необхідність забезпечення сигналу частот бездротового зв'язку не менше, ніж 0,18–0,20 мкВт/см².

Ключові слова: електромагнітна сумісність, електромагнітний екран, електрофізичні властивості, коефіцієнт екранування.

Вступ

Переважає більшість металевих та композиційних матеріалів для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів використовуються для захисту людей у виробничих умовах від електромагнітних впливів. Але у багатьох випадках потребують захисту й технічні засоби.

Відомо, що під впливом зовнішніх електромагнітних полів має місце нештатна робота електронного обладнання, яке забезпечує стабільність функціонування особливо важливих об'єктів та систем – керування технологічними циклами підприємств, систем контролю доступу, бортового та стаціонарного обладнання навігації та керування повітряним рухом тощо. Це є проблемами електромагнітної сумісності електронного та електричного обладнання. Їх вирішення штатними засобами підприємств не завжди можливе.

Це пояснюється використанням на підприємствах України великої кількості імпортного комп'ютерного та мережевого обладнання, електронних компонентів, які проектувалися виходячи з інших вимог щодо електромагнітного оточення, нормативів з електромагнітної сумісності та якості електроенергії. Прийняття з 01.01.2016 року (наказ Мінекономрозвитку від 29.12.2014 р. № 1483) методом підтвердження як обов'язкових кількох десятків міжнародних (загалом європейських) нормативів з електромагнітної сумісності не вирішує проблеми. Це пояснюється неможливістю виконання їх вимог внаслідок експлуатації великої кількості придатного до використання електричного обладнання, застарі-

лих систем електроживлення, модернізація яких вимагає багато часу та коштів. Тому доцільно дослідити можливість забезпечення електромагнітної сумісності електронного обладнання, принаймні на об'єктах критичної інфраструктури з використанням інноваційних матеріалів з керованими коефіцієнтами екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість досліджень та розробок з електромагнітної сумісності стосуються підвищення якості електроенергії (придушення гармонік та забезпечення синусоїдальності електростуму), що знижує втрати електроенергії у системах її передавання та споживання [1, 2]. Певним чином це також сприяє стабільності електронного обладнання через генерацію електрострумами гармонік промислової частоти відповідних магнітних полів [3]. Завадостійкість інформаційних кабельних мереж забезпечується спеціальним екрануванням окремих дротів кабелів, що забезпечує компенсацію завадо несучих магнітних полів кожного дроту у кабелі [4]. Екранування магнітного електромагнітного поля металевими матеріалами може унеможливити витікання поля за межі електричного пристрою та знижує рівні завадонесучих полів навколо нього [5]. Але у цьому випадку концентрація поля у замкненому об'ємі може створювати завади самому пристрою [6]. Крім того, як показано у [7], у достатньо сильних магнітних полях намагнічування феромагнітного екрана не поліпшує, а погіршує електромагнітну обстановку, якщо він розташований поблизу джерела поля. Дослідження [8, 9] стосуються блокування локальних

електромагнітних полів мобільних телефонів і не вирішують проблем за наявності багатьох технічних засобів у приміщенні та необхідності застосовувати безпроводні мережі передачі інформації.

У таких умовах необхідно застосовувати екрануючі матеріали і конструкції, які певним чином дозволять оптимізувати співвідношення коефіцієнтів екранування магнітних та електромагнітних полів різних джерел [10]. Таким вимогам відповідають композиційні металополімерні матеріали, які можуть бути спроектовані з необхідними коефіцієнтами екранування та відбиття. Останній параметр особливо важливий для забезпечення електромагнітної сумісності й знімає обмеження на відстань захисної конструкції від джерела поля [11].

Постановка завдання. Мета роботи – дослідження умов застосування та ефективності композиційних електромагнітних екранів для захисту найважливіших ланок об'єктів критичної інфраструктури від електромагнітних впливів.

Виклад основного матеріалу

Класичним визначенням електромагнітної сумісності технічних засобів є: спроможність технічного засобу функціонувати із заданою якістю у заданій електромагнітній обстановці та не створювати електромагнітних завад іншим технічним засобам.

Досвід обстежень електромагнітної обстановки у приміщеннях та на територіях стратегічних підприємств – авіадиспетчерських та апаратних аеродромів цивільної авіації, головних щитів керування електростанцій, підприємств теплопостачання, відкритих розподільчих пристроїв трансформаторних підстанцій тощо, свідчить, що розроблення загального підходу й розроблення універсальних заходів і засобів забезпечення належного рівня електромагнітної сумісності технічних засобів недоцільне й неможливе. Значною мірою це обумовлене тим, що у багатьох випадках потрібне забезпечення й електромагнітної безпеки персоналу. Відомо, що за хронічного електромагнітного впливу операторами можливе прийняття хибного рішення, що впливає на рівень загальної безпеки об'єкта.

У залежності від конкретних виробничих умов потребують вирішення три групи задач, що стосуються стабільності функціонування найбільш критичних обладнання й виробничих ланок підприємств:

- захист чутливого електронного обладнання від зовнішніх електромагнітних впливів різних частот і амплітуд;
- зниження рівнів електромагнітних полів, генерованих електричним та електронним обладнанням, що перебуває у експлуатації;
- одночасний захист техногенних засобів і персоналу від впливу електромагнітних полів внутрішніх та зовнішніх джерел.

Для забезпечення стабільності роботи електронного обладнання, особливо за умови його щільного розташування у виробничих приміщеннях (керування повітряним рухом, головних щитів керування електростанцій, бортового обладнання елект-

ричного транспорту тощо) найбільш ефективним засобом є екранування окремих одиниць обладнання або окремих його блоків.

Для розроблення засобів екранування потрібні вихідні дані щодо електромагнітної обстановки у приміщенні – частотні характеристики електромагнітного поля.

Важливими є власні випромінювальні властивості обладнання – електрогерметизація пристрою може погіршувати його працездатність через вплив на нього власного відбитого поля. У загальному випадку, для високочастотних випромінювань, це може бути вирішено підбиранням розмірів екрана, виходячи з довжини електромагнітної хвилі превалюючої частоти. Але у більшості випадків розміри захисної конструкції бажано мінімізувати. Тому для захисту обладнання доцільно застосовувати композиційні матеріали з малими коефіцієнтами відбиття електромагнітних хвиль (великими коефіцієнтами поглинання) [12].

Це дозволяє нормалізувати тільки зовнішній вплив на обладнання. Найбільшою складністю для проектування таких конструкцій є необхідність підбору товщини та складу матеріалу для конкретної електромагнітної обстановки. Це потребує виконання великої кількості експериментальних робіт (підбору необхідних параметрів).

Такі роботи потребують багато часу та матеріальних витрат. Тому доцільно попередньо розрахувати необхідні параметри, виходячи з потрібного коефіцієнта екранування.

На першому етапі, враховуючи вимоги до електромагнітної сумісності конкретного обладнання, на основі натурних вимірювань частотно-амплітудних характеристик електромагнітного фону, визначається потрібний коефіцієнт екранування. На основі відповідних математичних функцій визначають необхідні параметри екрануючого матеріалу. Це є обов'язковим через відсутність довідкових даних щодо магнітних та електрофізичних властивостей композитів (ефективна магнітна проникність, діелектрична проникність, питома провідність).

Наприклад, для циліндричного екрана у низькочастотній області спектра коефіцієнт екранування магнітного поля, спрямовано перпендикулярно до циліндра, визначається як:

$$K_e = 1 + 0,5i\omega\delta\mu\Delta r,$$

де ω - частота поля, σ – питома провідність матеріалу, μ – товщина матеріалу, r – внутрішній радіус екрануючої поверхні.

Або:

$$K_e = 1 + \left(\frac{r}{\delta}\right)^4 \left(\frac{\Delta}{r}\right)^2,$$

де $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$.

Значення δ для металополімерних матеріалів можливо виміряти методом подвійного мосту або отримати з літературних джерел [12]. Цей параметр для композиту може бути екстрапольований для різних концентрацій екрануючої провідної субстан-

ції. Для визначення ефективної магнітної проникності доцільно застосувати експериментальні значення для матеріалів кількох параметрів та відоме співвідношення для циліндричної екрануючої поверхні:

$$K_e = \frac{\mu(b^2 - a^2)}{4b^2},$$

де a і b – внутрішній та зовнішній радіуси циліндричного екрана.

Визначення залежності коефіцієнта екранування K_s від ефективної проникності композиційного металополімерного матеріалу можливе, наприклад, з використанням пакету Comsol (рис. 1). Такий підхід дозволяє знизити рівні магнітного поля до нормативних значень.

Наприклад, засоби обчислювальної техніки повинні витримувати вплив магнітного поля промислової частоти напруженістю 1 А/м.

Застосування наведеного підходу дозволило спроектувати та застосувати магнітний екран, який знижує зовнішнє магнітне поле (рис. 2, а) до прийняттого рівня (рис. 2, б).

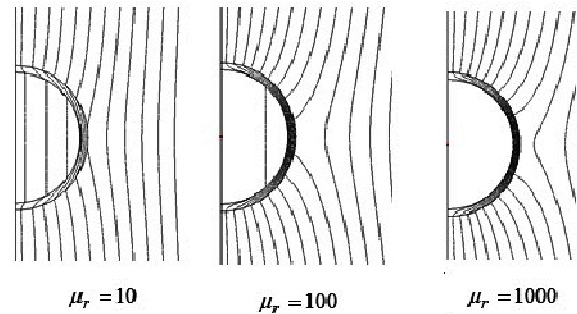
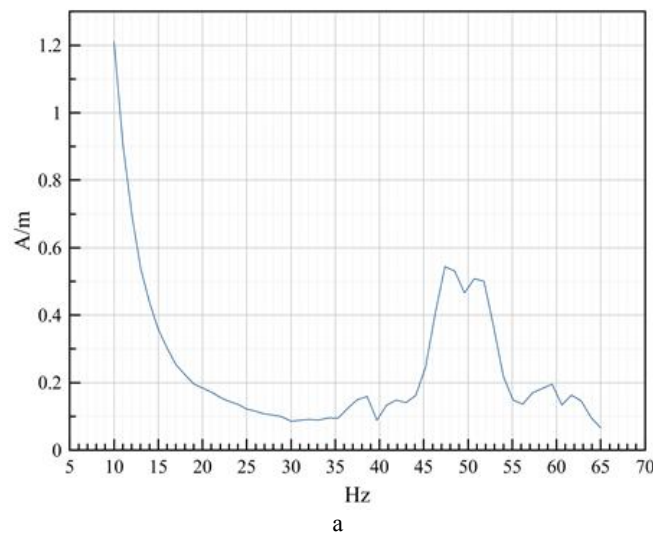
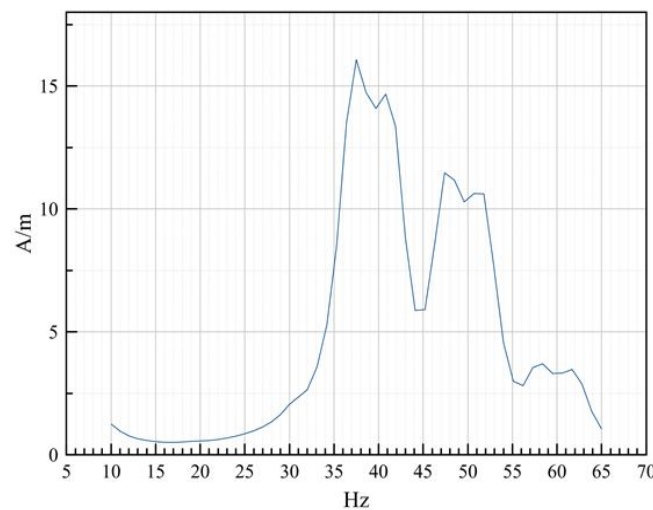


Рис 1. Апроксимація залежності коефіцієнта екранування композиційного металополімерного екрана від ефективної магнітної проникності



а



б

Рис. 2. Екранування магнітного поля композиційним металополімерним екраном: а – спектр вихідного поля; б – спектр екранованого поля

За необхідності одночасного підвищення електромагнітної безпеки персоналу доцільно застосувати магнітні та електромагнітні екрани великих

площ для облицювання поверхонь стін і будівель. У цьому випадку коефіцієнти екранування електромагнітного поля ультрависокої частоти необхідно ви-

користувати такі, щоб значення полів частотами 1,8–2,6 ГГц не були нижчими за 0,18–0,20 мкВт/см², що є мінімальним для забезпечення стабільного функціонування засобів бездротового зв'язку.

Висновки

1. Магнітні та електромагнітні екрани доцільно застосовувати для забезпечення електромагнітної сумісності електричного та електронного обладнання. На об'єктах критичної інфраструктури (аеродроми цивільної авіації, електростанції, залізничний транспорт) необхідним є екранування найбільш важливих для виробничих циклів електронних пристроїв.

2. Проектування екрануючих матеріалів здійснюється розрахунковими методами з використанням результатів натурних вимірювань електромагнітних полів у виробничих приміщеннях. Це дозволяє ви-

значити значення мінімально необхідних для забезпечення стабільності роботи електронного обладнання коефіцієнтів екранування.

3. Для прискорення та спрощення процесу проектування екрануючих поверхонь доцільно отримати апроксимації електрофізичних властивостей композиційних матеріалів різних складів та товщини. Це можливо зробити за результатами кількох прямих вимірювань коефіцієнтів екранування екранів стандартної форми та відповідних математичних співвідношень.

4. Для проектування екрануючих конструкцій великих площ слід оцінювати потреби функціонування засобів бездротового зв'язку.

Слід враховувати, що стабільність його роботи забезпечується рівнями випромінювань не нижчих за 0,18–0,20 мкВт/см².

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Саєнко Ю. Л., Бараненко Т. К., Бараненко Е. В. Методы компенсации реактивной мощности в сетях с нелинейными нагрузками. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2013. Вип. 26. С. 204–210.
2. Саєнко Ю. Л., Бараненко Т. К., Бараненко Е. В. Зниження рівнів гармонічних спотворень в електричних мережах з джерелами інтергармонік. *Електрифікація транспорту*. 2012. №3. С. 78–83.
3. Перельот Т. М. Гармоніки електричних струмів промислової частоти та їх вплив на електромагнітну обстановку у приміщеннях. *Гігієна населених місць*. 2014. Вип. 64. С. 192–197.
4. Bezprozvannykh G. V., Pushar O. A. Increasing Noise Immunity of Cables for Fire Protection System. *Electrical insulation and Cable Engineering*. 2020. № 4. Р. 54–58.
5. Хорхе В. Магнитная защита для беспроводных систем. *Электронные компоненты*. 2017. № 10. С. 73–76.
6. Розов В. Ю., Ассуиров Д. А. Автоматическое управление внешним магнитным полем технических объектов. *Технічна електродинаміка*. 2011. №1. С. 11–18.
7. Bhattacharjee S. Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation. *Electronic and Electric Engineering*. 2014. Vol. 4. P. 375–380.
8. Kasar V., Pawar A. A Novel Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones. *International Journal of Science and Research*. 2014. Vol. 3. P. 1869–1872.
9. Singh J. Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015. Vol. 3. P. 10022–10027.
10. Касаткіна Н.В., Левченко Л.О., Панова О.В., Тихенко О.М., Ченчевой В.В. Оптимізація параметрів екранування електромагнітних полів різномірних джерел у виробничих будівлях. *Вісті Донецького гірничого інституту*, 2020. Вип. № 1(46). С. 181–188.
11. Glyva V., Kasatkina N., Nazarenko V., Burdeina N., Karaieva N., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Khalmuradov B., Khodakovskyy O. Development and research of protective properties of composite materials for screening electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Iss. 2/12 (104). PP. 40–47.
12. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 1/5 (91). PP. 10–17.

Received (Надійшла) 14.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 04.11.2020

The design of electromagnetic screens of composite structure to ensure the stability of the critical infrastructure

N. Kasatkina, L. Levchenko, O. Tykhenko

Abstract. The principles of designing magnetic and electromagnetic screens for electromagnetic compatibility of electrical and electronic equipment at critical objects were developed. It is shown that to improve the stability of the equipment that provides important functions (air traffic control, power generation companies operation, etc.) some hardware and their components should be screened. The basic principles of design are given on the example of designing cylindrical protective design. It is proved that the actual electromagnetic situation must be studied for the efficient design of a protective structure. This makes it possible to determine the minimum required shielding factor, based on the standards for the resistance of electronic equipment to electromagnetic influences. Based on the shielding coefficient for known functions, the values of electrophysical parameters of the shielding material were obtained. These parameters were determined by changing the concentration and thickness of the shielding structure. This step is mandatory due to the lack of data on the electrophysical and magnetic properties of composite materials in the reference literature. To simplify and speed up the design work, it is advisable to obtain approximations for the changes in protective properties depending on material characteristics. The calculation of the effective magnetic permeability of metal-polymer material depending on its composition (the ratio of the content of the shielding substance and the polymer) using the Comsol package are given. This parameter determines the shielding factor obtained experimentally. The screening of large areas (separate rooms) must take into account the need to ensure wireless connection signal frequency of at least 0,18-0,20 mW/cm².

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic screen, electrical properties, shielding coefficient.

А. М. Толкачов¹, О. В. Третьяков², С. В. Гарбуз³, О. М. Роянов³

¹ Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

² Харківська державна академія фізичної культури, Харків, Україна

³ Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ШВИДКОЇ ЛІКВІДАЦІЇ ЛЬОДЯНИХ ЗАТОРІВ НА РІКАХ

Анотація. Актуальність. У статті показано, що саме імпульсний викид води можна розглядати при створенні водомету для руйнування льодової криги з великою дальністю дії. Проведеними випробуваннями викидів води з великою швидкістю, більше ніж декілька десятків метрів за секунду, встановлено, що викиди відбуваються у вигляді дисперсної струї, яка швидко розпилюється. Основним дестабілізуючим фактором струї, який запускає зовнішні механізми її руйнування є турбулентність. Боротьба з турбулентністю шляхом забезпечення більш плавної течії біля стінок каналу і сопла зміцнюють початок процесу турбулентності, але не усувають її. Таким чином, традиційні гідродинамічні підходи не дозволяють суттєво впливати на турбулентність. **Метою даної роботи** є теоретичне обґрунтування способу швидкого руйнування льодових заторів на річках в період льодоходу. Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі **завдання**: розробка теоретичного обґрунтування руйнування льодової криги за допомогою дискретного струменю великої швидкості; оцінка оптимальних параметрів струменю за допомогою комп'ютерного моделювання; визначення основних параметрів пристрою з кількісною оцінкою можливості руйнування пластів льоду різних габаритів. **Висновок.** Проведено теоретичне обґрунтування способу швидкого руйнування льодових заторів на річках в період льодоходу, зроблена оцінка оптимальних параметрів струменю води за допомогою комп'ютерного моделювання, визначено основні параметри пристрою з кількісною оцінкою можливості руйнування пластів льоду різних габаритів.

Ключові слова: річка, льодові затори, руйнування криги, струмінь великої швидкості.

Вступ

Затор льоду – явище льодового режиму річки в період замерзання, що позначається нагромадженням крижин під час льодоходу в вузьких місцях. Буває найчастіше під час весняного льодоходу, але відмічається і восени. Часто буває причиною льодоставу. При заторі, як і при зажорі, вище по течії, від місця його утворення спостерігається підйом, а нижче – зниження рівня води [1].

На території України знаходиться значна кількість річок, на яких щороку у весняний період спостерігається небезпечне явище – затори льоду, що становить чималу загрозу руйнування опор мостів, підтоплення прилеглих територій і потребує постійної уваги та протидії з боку гідрологічних служб, підрозділів ДСНС. Причинами даної ситуації являється географічне розташування держави, та холодний клімат у зимовий період року.

Дія льоду на опори, якщо не прийняті відповідні міри захисту, мають прояв у відриванні елементів опор від основи (грунту) при підвищенні рівня льоду, у розпиранні опор вздовж вісі мосту при розширенні льоду під впливом різкої зміни температури, у тиску на опори при рухах льоду, а також від льодин, що зупиняються і накопичують перед спорудами при заторах, у стиранні та ударах льодин, що пливають при льодоходах.

Саме така ситуація трапилася 6 квітня 2018 року Під масою криги на річці Псел у місті Гадячі, що розташовано на Полтавщині, відбулася загроза руйнування мосту, надзвичайну ситуацію вдалося уникнути за допомогою бійців ДСНС та дорожників [2].

Підвищення рівню льоду загрожує витягуванням палів й руйнуванням стиків в них, руйнуванням

раджів. Вертикальний і горизонтальний вздовж осей мосту вплив льодового покриву, особливо небезпечний для дерев'яних опор, необхідно запобігати руйнуванням льоду навколо опор[3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. З метою проведення запобіжних заходів на річках України, особливо великих і поточних з півдня на північ, практикується проведення дослідження ситуації та аналіз ризиків, забезпечується постійне спостереження за рухом льоду на початку замерзання або під час танення річок і приймаються рішення на проведення завчасних попереджувальних заходів й застосування методів штучного ослаблення крижаного покриву ділянок річок [4].

При ускладненні обстановки, зазвичай у разі неочікуваного утворення затору в небажаному місці або потужного забиття льодом частини живого перетину річки завдяки збігу несприятливих обставин, негайно вживаються міри по дробленню льоду в місцях можливого утворення льодових пробок [5] із застосуванням механічних і вибухових методів [6].

Проведення попереджувальних робіт по дробленню льоду в містах вірогідного виникнення заторів виконується за умов достатньої кількості часу групами піротехніків з виходом на кригу. При цьому використовується занурення у воду зарядів, для яких попередньо свердлять лунки.

Застосування в практиці вищенаведених методів у боротьбі із заторними явищами при катастрофічних наслідках можливе окремо і в комплексі з використанням авіації.

Авіація може використовуватися за трьома напрямками:

- повітряна розвідка льодової обстановки уздовж річки шляхом візуального спостереження й із

застосуванням аерофотознімання. Як правило, для оперативного з'ясування гідрогеологами льодової обстановки на річках на значній відстані доцільно використовувати легкомоторну (малу) авіацію і вертольоти з підготовленими екіпажами. Картограма повітряної розвідки льоду (складена на основі схеми або великомасштабної карти річки) є одним з основних оперативних документів при визначенні найбільш дієвих заходів боротьби із заторами;

- доставка в заторні райони фахівців, устаткування і матеріалів, необхідних для проведення робіт; також – мала авіація і вертольоти;

- дистанційне руйнування і запобігання утворенню льодових заторів шляхом їх бомбардування з повітря (бомбардувальна авіація) і підірванням зарядів й інших інженерних боєприпасів [7] або вібрацією [8], що збуджується хвилепродуктором (з використанням літаків і вертольотів).

Проте авіаційне бомбометання малоефективне через труднощі прицільного попадання у найбільш напружені зони затору, малу кількість бомб в одному вильоті та їх підрив на великій глибині й вельми високу вартість вильоту. Цей метод слід застосовувати у виняткових випадках, коли всі інші заходи вичерпані, при катастрофічних підйомах заторного рівня і неможливості вжити інших заходів в короткі терміни.

Так у березні 2018 року в місті Семей, що розташовано у східному Казахстані, під час підриву льоду на річці Іртиш вибуховою хвилею було зруйновано вікна у багатопверхових будинках, також було зафіксовано звернення громадян до медичного закладу [9].

Разом з цим великий успіх з руйнування різноманітних твердих матеріалів мають імпульсні технології на основі відповідних водометів [10]. Вони забезпечують велику кінетичну енергію води, у виробках з пороховим зарядом – гідро пушках швидкість струї досягає 1500 м/с [11], що дозволяє руйнувати практично будь-які тверді матеріали.

У запропонованому методі струмінь складається з окремих порцій води, то б то є дискретним, що забезпечує використання потужності на забезпечення кінетичної енергії окремих порцій. Саме невелика її маса дозволяє створити таку величезну швидкість руху окремої порції води. Довжину компактної ділянки дискретної порції розглядають як ефективну довжину струменю, вона зазвичай становить 1,5 м.

Таким чином, саме імпульсний викид води можна розглядати при створенні водомету для руйнування льодової криги з великою дальністю дії. Це потребує суттєвого теоретичного обґрунтування застосування цього методу для руйнування льодової криги, пошуку оптимальних параметрів струменю за допомогою комп'ютерного моделювання та визначення основних параметрів пристрою з кількісною оцінкою можливості руйнування пластів льоду різних габаритів.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування способу швидкого руйнування льодових заторів на річках в період льодоходу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- розробка теоретичного обґрунтування руйнування льодової криги за допомогою дискретного струменю великої швидкості;

- оцінка оптимальних параметрів струменю за допомогою комп'ютерного моделювання;

- визначення основних параметрів пристрою з кількісною оцінкою можливості руйнування пластів льоду різних габаритів.

1. Обґрунтування вибору методики

Витікання води з сопла відбувається зі швидкістю більшою ніж гранична швидкість ламінарної течії.

Режим течії визначається критерієм Рейнольдса – число, яке характеризує співвідношення сили інерції і сили в'язкості:

$$Re = \frac{uL}{\nu} \quad (1)$$

де u – характерна швидкість потоку, L – характерний розмір потоку, ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

Проведеними раніше випробуваннями викидів води з великою швидкістю, більше ніж декілька десятків метрів за секунду, що характеризується великими значеннями $Re \gg 2300$, встановлено, що викиди відбуваються у вигляді дисперсної струї, яка швидко розпилюється [12].

Основним дестабілізуючим фактором струї, який запускає зовнішні механізми її руйнування є турбулентність. Боротьба з турбулентністю шляхом забезпечення більш плавної течії біля стінок каналу і сопла зміщують початок процесу турбулентності, але не усувають її.

Таким чином, традиційні гідродинамічні підходи не дозволяють суттєво впливати на турбулентність, наприклад, перешкоджати розвитку сильної турбулентності за допомогою штучно створеної дрібномасштабної (ДМ) турбулентності. Її значення для стабілізації струї обговорювалось у роботі [13].

Фактично спектральна залежність спектральної щільності енергії $E(k)$ пояснює існування потоку турбулентної енергії (рис. 1).

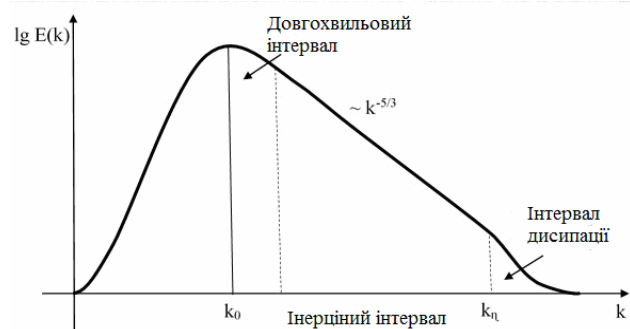


Рис. 1. Залежність спектральної енергії $E(k)$ від хвильових чисел k у логарифмічному масштабі: k_0 і k_n – хвильові числа для максимуму енергії і на початку дисипації

Начальний інтервал спектру з малими k відноситься до процесів утворення крупно масштабної (КМ) турбулентності за рахунок енергії основного потоку. Максимальне значення енергії відповідає хвильовому числу k_0 . Далі спектральні значення енергії знижуються, і виникає потік енергії до турбулентним утворенням меншого масштабу. Підсумкове перетворення кінетичної енергії у тепло відбувається із середньою швидкістю дисипації енергії ε в області значень великих k_n . Відповідно до моделі Колмогорова в інтервалі $k_0 < k_i < k_n$ енергетичного спектру має місце так званий закон $-5/3$:

$$E(k) \approx \varepsilon^{2/3} \cdot k^{-5/3}. \quad (2)$$

Присутність у спектрі тільки однієї характерної величини – енергії дисипації ε означає, що перенос енергії ДМ турбулентними флуктуаціями не залежить від сили тертя, а визначається виключно силами інерції. Інтервал значень k_i , при яких виконується закон $-5/3$, зветься інерційним інтервалом спектру $E(k)$, його ширина тим більше, чим більше число Рейнольдса. Таким чином, відповідно до теоретичної моделі у гіпотетичній течії з обуреннями, які мають хвильові числа $k_i > k_0$, КМ турбулентні структури зароджуватися не можуть.

Простота моделі Колмогорова тільки здається, вона має фундаментальне значення для дослідження турбулентних течій. Її наслідки у вигляді закону $-5/3$ підтверджені багато чисельними експериментальними дослідженнями і тим самим зміцнили теоретичні уявлення локально ізотропної турбулентності. Таким чином, є обґрунтованим застосування властивостей масиву ДМ флуктуації до турбулентної течії з великими числами Рейнольдса.

Виходячи з неможливості вихроутворення у середовищі з ДМ флуктуаціями, уявляється можливим використання її для стабілізації потоку. У роботі розглядається теоретичне обґрунтування створення штучної течії в режимі ДМ турбулентності з метою виведення її струї, де в процесі затухання ДМ флуктуацій буде відбуватися стримування вихроутворення.

2. Основні результати досліджень

Створення ДМ турбулентності базується на каскадному процесі передачі енергії Ричардсона і цей процес добре відпрацьований. Використовується течія, яка пройшла активну стадію турбулентності і знаходиться у стані турбулентних флуктуацій зі значеннями хвильових чисел k_i , які перебувають в інерційному інтервалі енергетичного спектру. Необхідна турбулентна енергія вноситься у потік штучним створенням вихорів за допомогою решітки, що встановлена на шляху течії (рис. 2) [14].

З наведеного рисунку видно, що крупні вихори з відстанню зменшуються і в процесі затухання турбулентності зникають, переходять у невидимі ДМ флуктуації. Саме область течії з мнимою відсутністю турбулентності стала предметом інтересу багатьох дослідників. Вже на ранній стадії досліджень було встановлено, що турбулентність за решіткою на від-

станях $30 \div 40 M$ (де M – розмір чарунки решітки), по багатьом своїм характеристикам наближається до однорідної та ізотропної турбулентності [15]. Причому для її існування потрібно щоб число Рейнольдса було досить великим (сотні тисяч) [15].

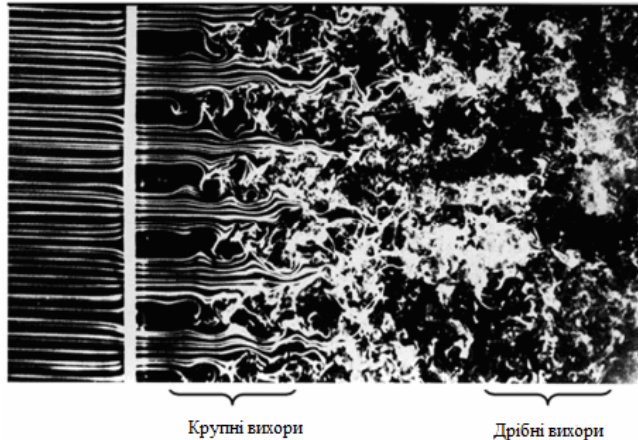


Рис. 2. Турбулентність у потоці за решіткою

Дослідження області розпаду турбулентності за допомогою решіток проведено різними методами. Найбільш ефективно створюють ДМ турбулентність решітки з просторовою системою фрактальних квадратів (рис. 3) [16].

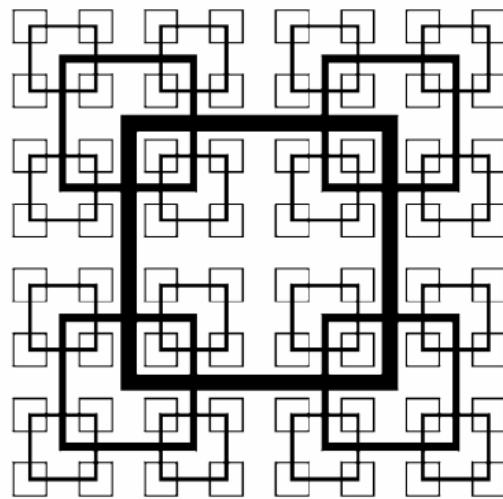


Рис. 3. Масштабна діаграма фрактальних квадратних решіток, заповнюючих простір

Для проектування водомету важливою є інформація про розподіл по потоку інтенсивності гомогенної ізотропної турбулентності [16]. Вона має максимум на відстані x_{peak} від і далі спадає експоненційно. Відповідно для складової по потоку середньоквадратичної турбулентної швидкості u' отримано вираз [16]:

$$u'^2 = u'_{peak}{}^2 \exp\left[-(x - x_{peak})/l_{urb}\right] \quad (3)$$

Встановлений характер розподілу локалізації інтенсивності решітчастої турбулентності дозволить виділити в течії область ДМ турбулентності. Безумовно ця задача не є простою, так як характеристи-

ки решітчастої турбулентності і саме значення x_{peak} є похідною від швидкості течії і параметрів решітки. Особливою задачею є отримання великої інтенсивності ДМ турбулентності в каналі течії, щоб вона зберігала активність у стані затухання в струї.

Процес формування струї повинен забезпечувати перенос енергії із встановленої області максимуму інтенсивності турбулентних флуктуацій у струю. Сумарна величина енергії в цій області залежить від інтегральної енергії по усій множині хвильових чисел інерційного інтервалу (вони повинні реалізуватися в обраних умовах турбулентної течії), а також від часових масштабів. Спектр хвильових чисел інерційного енергетичного інтервалу при великих числах Рейнольдса охоплює 2-3 порядки. Відповідно виникає знаний набір часових масштабів з актами турбулентних флуктуацій, які проходять безперервно. У результаті в області потоку поблизу x_{peak} існує локальний масив необхідних флуктуацій з ресурсом турбулентної кінетичної енергії, в якому йде тільки дисипативний процес. Таким чином, ця область потоку є безперервним генератором ДМ турбулентної енергії.

Частина цього масиву, що виведена у струю, буде перешкоджати утворенню в ній сильної турбулентності до вичерпання турбулентної енергії через дисипативний процес. У зв'язку з цим постає питання про середній час життя τ імпульсу ДМ турбулентності, яка потрапила у струю. Оптимістичний прогноз з цього питання дозволяють зробити визначене у [17] швидке зростання τ як функція числа Рейнольдса Re , практично як $\ln \tau \sim Re$. В подальших дослідженнях було встановлено, що залежність τ є більш сильною – подвійно експонентною: $\tau \sim \exp(\exp(Re))$ [18].

При передачі ДМ турбулентності із каналу течії в сопло і далі в струю виникає небезпека утворення вихорів через зміну режиму течії та різких змін перерізів потоку. Але течія з ДМ турбулентністю реагує на зовнішні дії інакше ніж ламінарний потік. В упорядкованому полі швидкостей ламінарної течії локальна флуктуація відразу ж порушує порядок в деякій найближчій області, а у випадку локально-ізотропної гомогенної турбулентності немає ніякого порядку. Середовище ДМ турбулентних флуктуацій можна розглядати як дрібно структурований еластичний континуум, для нього навіть використана назва «турбулентна рідина» [19].

В її полі швидкостей для утворення далекого порядку і появи вихорів необхідно значно більша напруга, ніж в будь-якій іншій течії. Крім того, швидкість турбулентного переносу і змішування на порядок вище швидкості молекулярного переносу імпульсу, тепла і речовини, тому релаксація виникаючих напруг, наприклад, на нерівностях стінок, буде відбуватися швидше ніж у ламінарному потоці. Можна вважати, що турбулентна рідина як би тече по прикордонному шару. Але існує критична напруга, при якій, наприклад, на уступі стінки утворюються вихори. Саме такі вихори досліджувалися у повністю розвиненій турбулентній течії [20]. Нажаль в цій роботі не досліджувався поріг напружен-

ня для утворення вихорів, а тільки процес їх еволюції і послаблення. Зникнення вихору у вигляді сліду є важливішим результатом цієї роботи, який вказує на усталеність течії з ДМ турбулентністю.

За допомогою одного з пакетів Розрахункової Гідродинаміки (CFD) було досліджено сталий потік води в пристрої для створення імпульсної струї.

Для числового експерименту була створена 3-х мірна модель внутрішнього каналу з решітками у вигляді листів з дрібною перфорацією ($d = 2$ мм), коефіцієнт втрат визначався по емпіричній формулі [21] – $\xi \approx 1,15$, вхідний патрубок розташований сосно (рис. 4).

Робоче тіло – вода при температурі $t = 20$ °C .

Граничними умовами встановлювався потік з об'ємними витратами води $Q = 2,26$ л/с, що відповідало середній швидкості на перерізі сопла $V_{cp} = 10$ м/с. У математичній моделі були використані рівняння гідродинаміки із замикаючими умовами турбулентності $k-\varepsilon$ [22]. Ця модель двох параметрична, яка використовує усередненим параметрам енергію турбулентності $k = 0,5(\tilde{v}_x^2 + \tilde{v}_y^2 + \tilde{v}_z^2)$

та енергію розсіювання $\varepsilon = C_\mu \cdot k/\delta_s \cdot \tilde{V}_i$ – усереднена пульсація відхилення величини компоненти швидкості, $C_\mu = 0,09$ – емпіричний коефіцієнт, δ_s – масштаб турбулентності.

Найбільш зручною величиною, що характеризує турбулентність є інтенсивність – $I = \tilde{V}_i / V_i$.

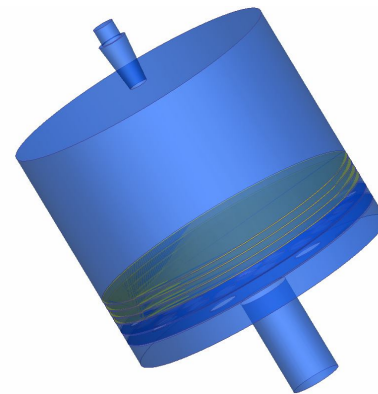


Рис. 4. Трьохмірна модель пристрою імпульсної струї

Перед соплом створена форкамера, яка служить для вирівнювання і заспокоєння потоку. Довжина форкамери 1,5...2 калібрів. На початку форкамери установлений хонейкомб, який служить для вирівнювання потоку, і решітки, які гасять пульсації потоку і вирівнюють швидкість по величині.

На рис. 5 зображені лінії току. З рисунку видно, що у камері заспокоєння за спрямовуючою конструкцією є два типи руху:

- струї, які сходяться і розганяються в напрямі до вихідного отвору;
- блукуючі струї, що виникають як вторинні вихори від руху першого типу струї.

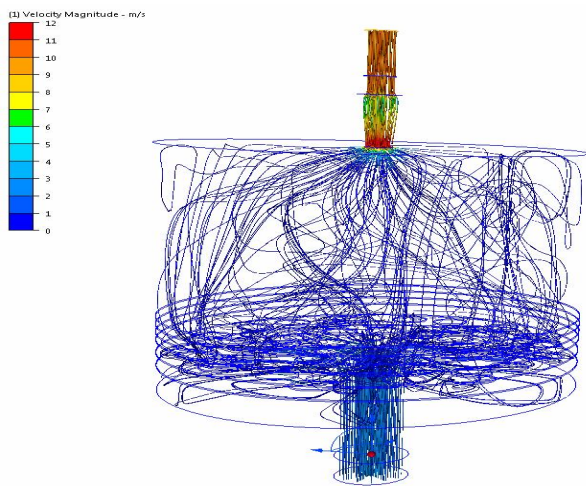
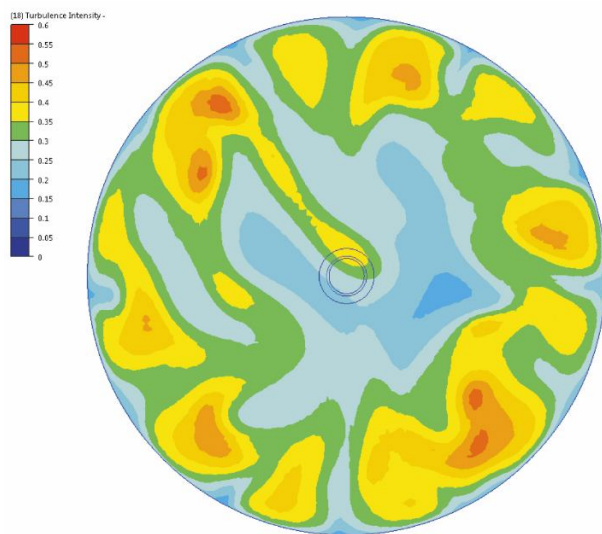


Рис. 5. Лінії току у пристрої

На рис. 6 показані струмки рідини, які на початку сопла прискорюються, а на кінці сопла стискаються, при цьому струмки отримують на вході з сопла від'ємні компоненти радіальної швидкості (за напрямом до центру струї).

Результати комп'ютерного моделювання показали (рис. 7), що при швидкості витікання з сопла 10 м/с інтенсивність турбулентності в перерізі поблизу решіток достатньо висока і місцями досягає 60%, а в перерізі середньої частини свобідного простору камери була на рівні 30% і практично рівномірною по всьому перерізу.



а

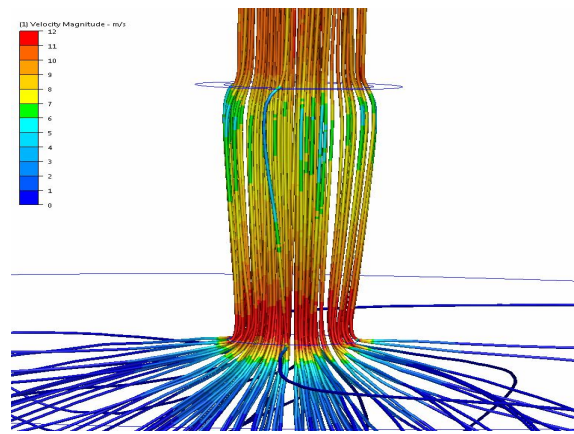
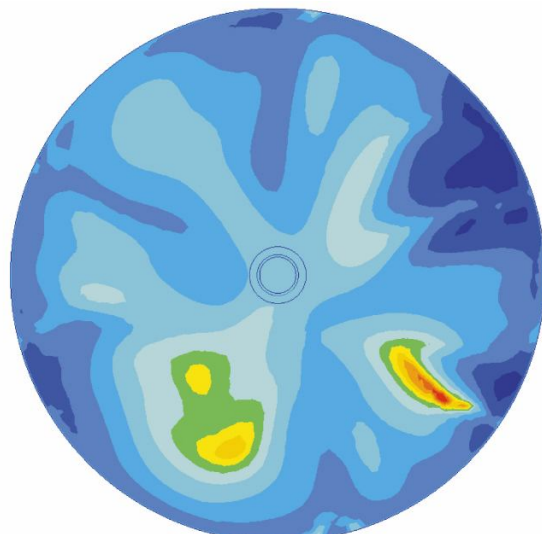


Рис. 6. Розгін «пучка» у соплі

Як можна припустити, саме наявність від'ємної радіальної компоненти перешкоджає її руйнуванню на початковому етапі її існування, так як відповідно до теорії в'язких потоків одна з властивостей в'язкого потоку є кут полурозкриття [23].

На виході з сопла інтенсивність турбулентності ще зменшується: по краях до 35% у центрі – до 5-10% (рис. 8).

Результати проведеного модулювання можна трактувати в якості доказів відсутності КМ турбулентної течії на виході з сопла струї і далі у самій струї. Це дає надію, створення на цьому принципі імпульсного водомету дозволить швидко руйнувати льодові затори на річках в період льодоходу.



б

Рис. 7. Профілі розподілу інтенсивності турбулентності в перерізах камери форсунки: а – поблизу решіток, б – по середині вільного простору

Оцінимо потужність такого водомету для руйнування льоду. Міцність льоду, відповідно до [24] як результат ділення зусилля стиснення, при якому настало руйнування зразка льоду розміром 70×70×70 мм, на площу опорної поверхні зразка, при температурі 0° С становить – 16 кгс/см², тобто 160 Н/см².

Визначимо яким повинні бути параметри одного імпульсного заряду водомету. Оберемо переріз

струї $S = 10 \text{ см}^2$, що відповідає $d = 3,56 \text{ см}$. Для того щоб забезпечити руйнування льодини, струї такого діаметру повинні створювати зусилля $F = 1600 \text{ Н}$ (що рівнозначно дії маси 160кг на площу 10 см^2).

Оцінимо необхідний імпульс струї p з виразу $F = dp/dt$, за умови рівномірної втрати імпульсу у момент удару по перешкоді – $F = \Delta p/\Delta t$.

Подальша оцінка потребує завдання реальних параметрів: довжини струї та її швидкості.

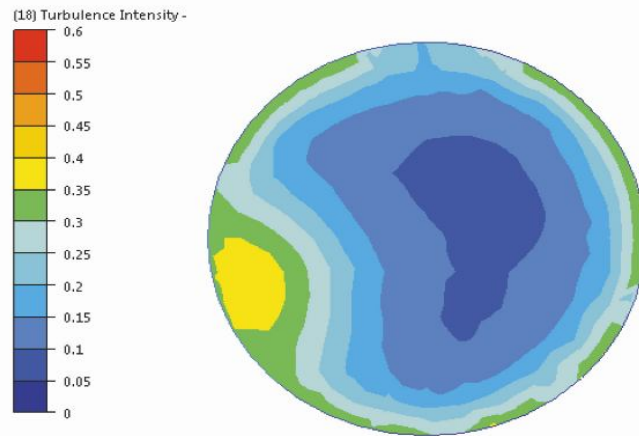


Рис. 8. Профілі розподілу інтенсивності турбулентності на виході з сопла

Оберемо довжину $L = 2\text{ м}$, це буде відповідати об'єму заряду $V = L \cdot S = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ або 2 літра.

Відповідно маса $m = 2\text{ кг}$, а імпульс $p = mv$ при припущеній швидкості $v = 100\text{ м/с}$ становить $200\text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Час зміння імпульсу Δp , в такому випадку його втрата, відповідає часу руйнування струї довжиною 2 м, яка рухається зі швидкістю 100 м/с, при зіткненні з перешкодою:

$$\Delta t = 2/100 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ с} = 20\text{ мс.}$$

Таким чином, при вибраних параметрах струї отримаємо руйнуючу дію $F = \Delta p / \Delta t = 1 \cdot 10^4 \text{ Н}$, тобто 1000 Н/см^2 , що в 6,25 разів більше, ніж міцність льоду.

3. Основи конструкції водомету

Проведений аналіз властивостей ДМ турбулентності комп'ютерне моделювання та оцінка параметрів імпульсного заряду водомету дозволяють запропонувати наступну принципову схему імпульсного водомету (рис. 9).

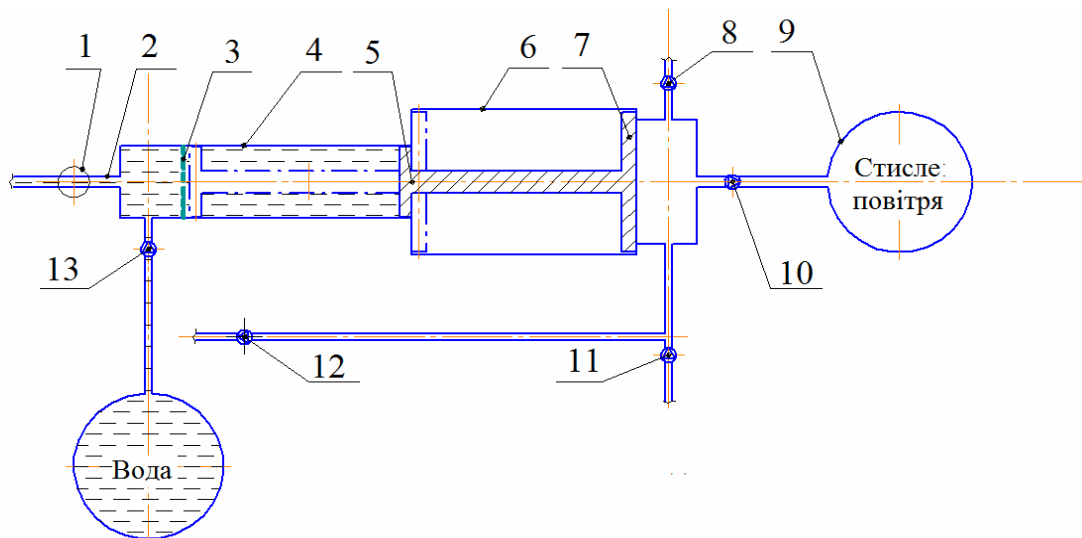


Рис. 9. Принципова схема імпульсного водомету:

- 1 – затвор сопла; 2 – сопло; 3 – решітки; 4 – ствол; 5 – поршень ствола;
- 6 – циліндр пневматики; 7 – поршень пневматики; 8 – клапан скиду тиску;
- 9 – ресивер; 10 – клапан ресивера; 11 – редуктор високого тиску;
- 12 – клапан пневматики затвора; 13 – клапан подачі води

До початкових параметрів конструкції відносяться тільки діаметр водяного заряду і швидкість вилиту струї. Тільки після відпрацювання цих параметрів в режим безперервної течії отримання ДМ турбулентності можна буде переходити до імпульсного режиму і підібрати оптимальну довжину струї.

Мінімальна довжина ствола повинна забезпечувати об'єм повної маси води в струї або бути кратною декільком порціям.

Викид води здійснюється пневматичним методом. Щоб уникнути високого тиску у повітряному

циліндрі водомету, тиск на воду створюється подвійним поршнем різного перерізу: одна його частина – 5 рухається в каналі ствола 4, інша – 7 рухається в циліндрі пневматики. Викид води відбувається при постійному тиску, що забезпечується за допомогою ресивера.

Особливо важливим елементом конструкції є затвор сопла. Він повинен бути швидкодіючим, менше ніж 20 мс і витримувати великий тиск. Пропонується виготовити його у вигляді затвора з пневматичним приводом.

Висновок

Проведено теоретичне обґрунтування способу швидкого руйнування льодових заторів на річках в період льодоходу, зроблена оцінка оп-

тимальних параметрів струменю води за допомогою комп'ютерного моделювання, визначено основні параметри пристрою з кількісною оцінкою можливості руйнування пластів льоду різних габаритів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко В. Г. *Загальна гідрологія*: Навчальний посібник для студентів. Харків: вида-во ХНУ, 2008. 144 с.
2. На річках Полтавщини «розгулялись» льодоходи <https://poltava.depo.ua/ukr/poltava/na-richkah-poltavschini-rozglyalis-lodohodi-foto-video-20180406754> 988.
3. Защита опор от ледохода. <http://fccland.ru/ekspluatsiya-mostov/3646-zaschita-opor-ot-ledohoda.html>.
4. Наказ Державного агентства водних ресурсів України № 198 «Про пропуск льодоходу, повені та паводків у 2014 році» від 25 грудня 2013 р. [Електронний ресурс.] Режим доступу: <http://ovg.ck.ua/povin2014ovg.pdf>.
5. Закон України № 5403-VI р. із змінами «Про Кодекс цивільного захисту України» від 02 жовтня 2012 р. [Електронний ресурс.] Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17/page>.
6. Тавризов В.М. *Защита мостов и других объектов от ледохода*. Москва: Литература по строительству, 1971. 199 с.
7. Машевський В.Ф., Мясников Т.Ф. *Руководство по подрывным работам*. Москва: ВИ МО СССР, 1969. С. 349-373.
8. *Способ ликвидации ледяного затора*. [Електронний ресурс.] Режим доступу: http://www.findpatent.ru/img_show/814/8142404.html.
9. В Казахстане взрыв льда на реке уничтожил окна в городских многоэтажках <https://tsn.ua/ru/svit/v-kazahstane-vzryv-lda-na-reke-unichtozhil-okna-v-gorodskih-mnogoetazhkah-1132323.html>.
10. Лаврентьев, М. А. *Вопросы теории и практики импульсных водяных струй*. М. А. Лаврентьев, Э. Г. Антонов, Б. В. Войцеховский. Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО АН СССР, 1961. 347 с.
11. Атанов, Г. А. *Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород*, Киев: Выща школа, 1987. 152 с.
12. Толкачов А.М. Импульсное водометное орудие. *Збірник наукових праць АБВ МВСУ*. Харків: АБВ МВСУ, 2012. Вип. 2. С. 81-87.
13. Sidorenko I. Tolkachev A. Using small-scale turbulence for forming a solid fluid jet. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 2018. Вип. 1(55). С. 185-188.
14. Ван-Дайк М. *Альбом течений жидкости и газа*. Москва: Мир, 1986. 184 с.
15. Monin A. S., Yaglom A. M. *Statistical Fluid Mechanics*, Volume II, Donver Ed., 2007. 871 p.
16. Hurst D. J, Vassilicos J. C. Scalings and decay of fractal-generated turbulence. *Phys. Fluids* Vol. 19, 2007, p. 035103-1-31.
17. Hof B., Westerweel J., Schneider T., Eckhard, B. Finite lifetime of turbulence in shear flows. *Nature*, 2006. Vol. 443 p. 59–62.
18. Hof B., de Lozar A., Kuik D.J., Westerweel J. Repeller or attractor? Selecting the dynamical model for the onset of turbulence in pipe flow. *Phys. Rev. Lett.* 2008, Vol. 101(21), 214501.
19. Курбацкий А.Ф. *Лекции по турбулентности, часть 1*. Введение в турбулентность. Учебное пособие. Новосибирск, 2000. 118 с.
20. Cardwell N. D., Vlachos P. P., Thole K. A. Developing and fully developed turbulent flow in ribbed channels. *Exp Fluids*, 2011. Vol. 50, 1357–1371.
21. Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Москва: Машиностроение, 1992. 672 с.
22. Лойцянский Л.Г. *Механика жидкости и газа*. Москва: Из-во «Дрофа», 2003. 676 с.
23. Вулис Л.А., Кашакаров В.П. *Теория вязкой жидкости*. Москва: Наука. 1965. 431 с.
24. И. И. Батраков, Ю. А. Носков, В. Н. Харламов, В. А. Шкурин *Перевозка смерзающихся грузов*: Справочник; Под ред. Ю. А. Носкова. Москва; Транспорт, 1988. 208 с.

Received (Надійшла) 11.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

**Theoretical justification of methods
for rapid elimination of ice blocks on rivers**

A. Tolkachev, O. Tretyakov, S. Harbuz, O. Roianov

Abstract. Topicality. The article shows that it is the pulsed release of water can be considered when creating a water jet to destroy the ice with a long range. Tests of water emissions at high speeds, more than a few tens of meters per second, found that the emissions occur in the form of a dispersed jet, which is quickly sprayed. The main destabilizing factor of the jet, which triggers the external mechanisms of its destruction is turbulence. Combating turbulence by providing a smoother flow near the walls of the channel and nozzle shifts the beginning of the turbulence process, but does not eliminate it. Thus, traditional hydrodynamic approaches do not significantly affect turbulence. **The purpose of this work** is a theoretical substantiation of the method of rapid destruction of ice jams on rivers during the ice drift. To achieve this goal, the **following tasks** were solved: development of a theoretical justification for the destruction of ice using a discrete high-velocity jet; estimation of optimal jet parameters with the help of computer modeling; determination of the main parameters of the device with a quantitative assessment of the possibility of destruction of ice layers of different sizes. **Conclusion.** Theoretical substantiation of the method of rapid destruction of ice jams on rivers during the ice drift, the assessment of the optimal parameters of the water jet using computer simulation, the main parameters of the device with a quantitative assessment of the possibility of destruction of ice layers of different sizes.

Keywords: river, ice jams, ice destruction, high speed jet.

I. Havryk¹, A. Shyshatskyi³, O. Sova³, A. Lyashenko³, S. Palamarchuk³, Ye. Neroznak³, V. Velychko³

¹National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

²Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces, Kyiv, Ukraine

³Military institute of telecommunications and information named after Heroes of Krut, Kyiv, Ukraine

METHODS OF CYBER SECURITY ASSESSMENT IN THE SPECIAL PURPOSE INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS SYSTEM

Abstract. To increase the effectiveness of the fight against cybercrime, developed countries have begun the relevant work to increase the security of their own information and telecommunications networks of general and special purpose. Current global trends in the spread of cybercrime and the intensification of cyberattacks indicate the growing importance of combating it for the further development of society, which in turn leads to the attribution of certain groups of public relations of the cybersphere to the competence of legal regulation. The current situation with cybercrime requires constant improvement of methods of combating cybercrime, development of information systems and methods aimed at ensuring cybersecurity in the country. That is why the authors of this article developed a method for assessing cybersecurity in a special purpose information and telecommunications system. During the research, the authors used the main provisions of communication theory, queuing theory, artificial intelligence, as well as general scientific methods of analysis and synthesis. The difference between the proposed method from the known ones, which determines its novelty, is the possibility of: detection and qualitative interpretation of cyber threats; modeling scenarios of extreme situations caused by the implementation of cyber threats; assessment of risks that have the characteristics of several classes and ranking of assets of the information and telecommunications system according to the degree of their criticality; perform an assessment of the number of critically vulnerable assets of the information and telecommunications system; substantiate the composition and probability of cyber threats that can cause extreme situations in the information and telecommunications system; conducting risk assessment of their implementation in the information and telecommunications system. The practical significance of the proposed method is fatigue, that its application allows to automate the process of analysis of cyber threats and risk assessment of cybersecurity of information and telecommunications system.

Keywords: cyberspace; cyberattacks; protection; cybersecurity; state security, information and telecommunication networks, artificial intelligence.

Introduction

The experience of operations (combat operations) in recent years shows the growing role of information and telecommunications systems (ITS) for special purposes in achieving the goal of the operation (combat operations).

The specificity of special-purpose ITS is that on the one hand they solve the problem of transmission and processing of information, and on the other hand they should meet the requirements of survivability while influencing on the enemy.

In order to disorganize management and achieve information of superiority by the enemy, devices of electronic warfare and cybernetic influence on special-purpose ITS are widely used [1-5].

Cyberattacks on ITS have become a real threat and they are one of the priority issues of national security and risk management.

Cybersecurity encompasses all security measures that can be taken to protect against these attacks. The significant increase in the complexity and intensity of cyber attacks in recent years has forced most developed countries to strengthen their defenses and adopt national cybersecurity strategies. Therefore, the problem of ensuring the protection of cyberspace in the world is relevant.

In order to develop measures to combat cyber influences on special-purpose ITS, the authors propose to

develop a methodology for assessing cybersecurity in special-purpose ITS [6-8].

That is why *the purpose of this article* should be considered a method of assessing cybersecurity in the information and telecommunications system of special purpose.

Presentation of the main material

The method of assessing cybersecurity in ITS of the special purpose consists of the following main stages (Fig. 1).

1. Entering the output data. At this stage, the operational situation and available data on the possibilities of cybernetic impact on special-purpose ITS are introduced.

2. Analysis of cyber threats. During the implementation of this procedure, the following steps are performed: 1) establishing the context of ITS; 2) conducting a security audit in ITS, which includes: questionnaires; detection of cyber threats in ITS assets; valuation of ITS assets; threat detection; identification of typical attack vectors and formation of scenario concepts.

The analysis of cyberthreats in the methodology is carried out by comparing the identified cyberthreats with cyberthreats that are available in the knowledge base. Also at this stage, a list of critical assets and identified vulnerabilities corresponding to the cyber threat,

as well as typical attack vectors, which are a chain of vulnerabilities, threats and target assets [6-8].

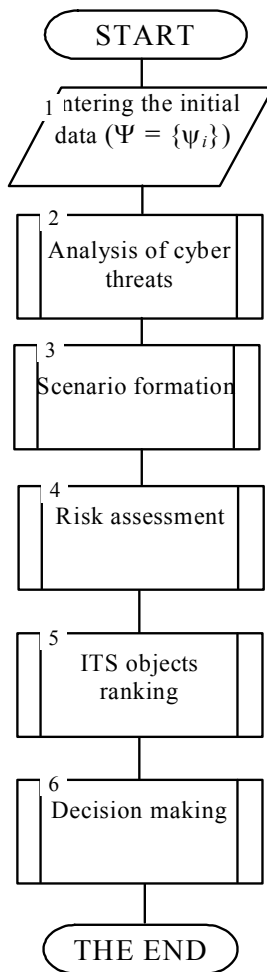


Fig. 1 Algorithm for implementing evaluation methods

Based on the obtained result, concepts and connections between them are formed for further construction of scenarios.

Formally, the initial data of the first stage of cyber threat analysis and risk assessment are presented by formula (1).

$$P = \{V_i, T_j, A_k, R_a^v\}, \quad (1)$$

where P is the model of intruder attacks represented by a chain of vulnerabilities and threats; V_i is the identified special-purpose ITS vulnerabilities; T_j is the cybersecurity threat; A_k is the target assets attack; R_a^v is the attack vector.

3. The formation of scenarios of extreme situations in ITS caused by the implementation of cyber threats.

This procedure is based on systematic analysis and information security research.

As a tool for scenario analysis of the impact of cyber threats on the occurrence of extreme situations in special-purpose ITS, it is proposed to use neurofuzzy models (Fig. 2).

The architecture of decision trees is implemented using fuzzy “IF” rules, which are considered as general building blocks of the decision tree [8].

The decision tree (DT) is one of the most well-known methods that are used to obtain classified data from large data sets.

There are several reasons for their widespread use:

- in many cases, the accuracy of decision trees is comparable or higher than other classification models [9];
- most decision trees do not require a large number of parameters for their configuration in the DT construction [10];

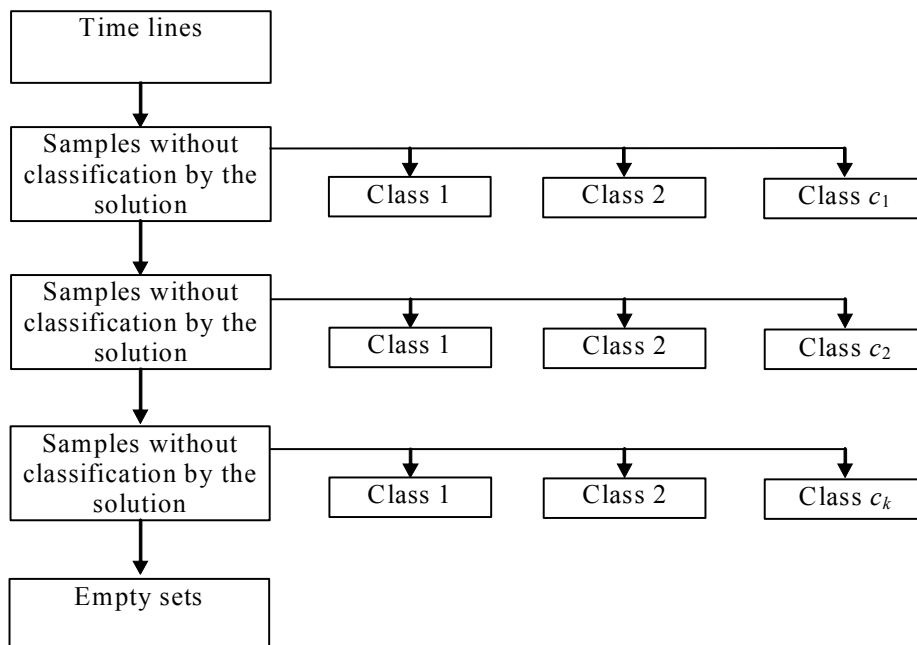


Fig. 2. General view of the decision tree of the fuzzy model

- due to their intuitively attractive topology, the results of classification models are easy to understand [12-14].

However, the main disadvantage of existing fuzzy mathematical models and other methods, which has the nature of the "black box", is the difficulty of interpreting the identification model and lack of understanding (representation) of the interaction between technical indicators and fluctuations (changes) in time series values.

There are cases in which it is difficult to classify an object with high accuracy with one or another feature. These situations are solved due to the possibilities of fuzzy logic, when we talk not just about belonging to a class, sign, attribute, but about its degree of belonging.

The data, which is required for the operation of the algorithm, must be presented in the form of a flat table. All information about objects (following examples) from the subject area should be described as a finite set of features (following attributes). Each attribute must have a discrete or numeric value. The attributes themselves should not change from the example, for example, and the number of attributes should be fixed for all examples.

Let it be that a set of examples T , where each element of this set is described by m attributes. The number of examples in the set T will be called the power of this set $|T|$.

Let it be that through $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ marked classes (values of the class label), then there are 3 situations [3-7]:

1. The set T has one or more examples belonging to the same class C_k . Then the decision tree for T is the letter that defines the class C_k ;

2. The set T has no example (an empty set). Then it is again a letter, and the class associated with the letter is chosen from another set that is different from T .

3. The set T has examples belonging to different classes. In this case, it is necessary to divide the set T into some subsets.

To do this, choose one of the features that has two or more different values O_1, O_2, \dots, O_n . T is divided into subsets T_1, T_2, \dots, T_n , where each subset T_i contains all the examples that are relevant to the selected feature O_i . This procedure will be recursively continued until the finite set consists of examples belonging to the same class.

The task is to build a hierarchical classification model in the form of a tree from many examples T . The process of building a tree occurs from top to bottom.

In the first step, we have an empty tree (there is only a root) and a source set T (associated with the root).

Then as a result of partitioning n (on number of attribute values) subsets are received and n descendants of a root are created, to each of which the

subset received at partition of set T is put. Then this procedure is recursively applied to all subsets (descendants of a root and further).

The advantage of this approach consists in the fact that the reuse of the attribute while building a tree is not excluded and any of the attributes can be used an unlimited number of times while building a tree.

Let it be that we have X check (any attribute can be selected as a check) that takes n values A_1, A_2, \dots, A_n .

Then the partition T on the test X will give us subsets T_1, T_2, \dots, T_n , with equal respectively A_1, A_2, \dots, A_n .

The only information available to us is how the classes are distributed on the set T and its subsets obtained by partitioning by X . This is what we use to define the criterion.

Let be that $Freq(C_j, S)$ is a set of examples from some set S belonging to the same class C_j . Then the probability that a randomly selected example from the set S will belong to the class C_j .

$$P = \frac{freq(C_j, S)}{|S|}. \quad (2)$$

According to information theory, the amount of information contained in a message depends on its probability

$$\log_2\left(\frac{1}{P}\right), \quad (3)$$

Since we have a logarithm with a binary base, the expression (3) gives a quantitative estimate in bits.

$$\begin{aligned} Info(T) &= \\ &= \sum_{j=1}^k \frac{freq(C_j, T)}{|T|} \cdot \log_2 \frac{freq(C_j, T)}{|T|}. \end{aligned} \quad (4)$$

We obtain an estimate of the average amount of information that is necessary to determine the class of the example from the set. The algorithm uses a theoretical and information approach. To select the most appropriate attribute, it is proposed to use the following criterion:

$$Info(T) = \sum_{j=1}^k \left| \frac{T_j}{T} \right| \cdot Info(T_j), \quad (5)$$

Then, the criterion for selecting the attribute will be the following formula:

$$Gain(X) = Info(T) - Info_x(T). \quad (6)$$

The criterion (6) is calculated for all attributes. We selected an attribute that maximizes this expression. This attribute makes a check in the current node of the tree, and then it occurs the further construction of the tree.

Then, the node will check the value of this attribute and further movement on the tree will occur depending on the experience.

Criterion (6) must be maximized. From the properties of entropy, it is known that the maximum possible value of entropy is achieved in the case that all its messages are equally likely to happen.

In our case, the entropy (5) reaches its maximum when the frequency of occurrence of classes in the examples of the set T is equally likely to happen. It is necessary to choose such attribute that at partition on it one of classes had the greatest probability of emergence.

This is possible in the case when the entropy (5) will have a minimum value and criterion (6) reaches its maximum.

In the case of numeric attributes, you must select a threshold with which all attribute values must be compared. Let the numeric attribute have a finite number of values. Let's mark them $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$.

Pre-sort all values. Then any value between V_i and V_{i+1} divides all examples into two sets: those to the left of that value $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ and those to the right $\{V_{i+1}, V_{i+2}, \dots, V_{i+n}\}$.

As a threshold, you can choose the average between these values V_i and V_{i+1}

$$TH_i = \frac{V_i + V_{i+1}}{2}. \quad (7)$$

Thus, the task of finding the threshold is significantly simplified, and we lead to the consideration of all $n-1$ potential threshold values $TH_1, TH_2, TH_3, \dots, TH_{n-1}$.

Formulas (4), (5) and (6) are consistently used for all potential threshold values and among them is chosen the one that gives the maximum value according to criterion (6). Then, this value is compared with the values of criterion (6), calculated for other attributes.

If it happens that among all the attributes, the specified numeric attribute has the maximum value according to criterion (6), then it is chosen as a check.

4. Assessing the risks of cybersecurity in ITS.

This procedure is aimed at identifying risks, their qualitative and quantitative assessment, as well as ranking of the considered objects according to the established criteria, which can be the values of both the integrated indicator of risks on the object and indicators of certain types of risks.

This procedure contains recommendations for risk description, qualitative and quantitative assessment, selection of assessment scales and ranking of energy facilities. The procedure for assessing the risks of cybersecurity in information and telecommunications systems includes 3 main stages: risk description; qualitative and / or quantitative risk assessment; ranking of objects.

5. Ranking of objects in ITS.

In this technology, the ranking of objects occurs in accordance with the magnitude of the risks that may be posed by cyber influences, information about which is included in the database of external and internal threats or factors.

The proposed ranking criterion:

$$K^S = \{C, R, \Theta\}, \quad (8)$$

K^S is the significance criterion;

C is the risk assessment criterion;

R is the integrated indicator of the risks of the affected objects;

Θ is the object that is represented by a set of characteristics.

Conclusion

1. Nowadays, the main topic of discussion in the world should be to strengthen cybersecurity and reduce the number of cyber attacks in cyberspace.

This problem needs to be solved as soon as possible, because the created models of cyber weapons have a global reach, almost instantaneous impact without any way to obtain warning about its use.

Cybersecurity is the only thing that can prevent information loss and interference by some countries in the security of others.

2. In the course of the research, the authors developed a methodology for assessing cybersecurity in a special-purpose information and telecommunications system.

The difference between the proposed method from the known, which determines its novelty, consists in the possibility of:

the detection and qualitative interpretation of cyber threats;

modeling scenarios of extreme situations caused by the implementation of cyber threats;

the assessment of the risks that have the characteristics of several classes and ranking the assets of the information and telecommunication system according to the degree of their criticality;

the assessment perform of the number of critically vulnerable assets of the information and telecommunications system;

the substantiate of the composition and probability of cyber threats that can cause extreme situations in the information and telecommunications system;

the conduction of the risk assessment of their implementation in the information and telecommunications system.

3. The application of the proposed technique allows to automate the process of analysis of cyber threats and risk assessment of cybersecurity of information and telecommunications system.

Areas of further research should be considered the development of methods for improving the cyber security of information and telecommunication systems.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M (2015). "Development of integrated systems and data for Armed Forces", Arms and military equipment, No 1(5), pp. 35-40. available at : <http://journals.uran.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed november 5, 2019).
2. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M (2017). "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", Information Processing Systems, Vol. 5(151), pp. 16-25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
3. Romanenko, I. and Shyshatskiy, A (2017). "Analysis of modern condition of military radiocommunication system", Advanced Information Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05>.
4. AJP-6: Allied Joint Doctrine for Communication and Information System [Electronic Resource]. – Mode of access: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/200016/20110401-ajp6_cis_secured.pdf.
5. AAP-31: NATO Glossary of Communication and Information Systems Terms and Definitions (November 2001). – 119 p.
6. AJP-5: Allied Joint Doctrine for Operational-level Planning – 2013. – 299p.
7. NATO Glossary of Terms and Definitions: AAP-6 [Edition 2018]. – NATO Standardization Agency, 2018. – 2019 p.
8. Electronic Warfare Planning and Management Tool (EWPMT). United States Army Acquisition Support Center. 2016. available at : <http://asc.army.mil/web/portfolio-item/news-electronic-warfare-planning-and-management-tool-ewpmt/> (last accessed august 25, 2020).
9. Popov, A.O. and Tverdokhlibov, V.V(2014). "General tendencies of development of means of electronic warfare ", Arms and military equipment, No. 4 (4), pp. 4-10.
10. Shyshatskiy, A., Kalantaievskaya, S., Malyk, O., Tiurnikov, M., Zhuk, P. and Pikul, R(2019). "Foundation the ways of radio electronic warfare devices development". Advanced information systems. No. 3(2). pp. 98-103.
11. Romanenko, I. O., Shyshatskiy, A.V., Zhyvotovskiy, R. M. and Petruk, S.M (2017). "The concept of the organization of interaction of elements of military radio communication systems". Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. No 1. pp. 97-100.
12. Salnik, S.V., Salnik, V.V., Sova, O. Ya. and Stampkovskaya, Ya.A (2016). "Model of invasion of mobile radio networks of the class MANET". Proceedings of Kharkiv National University of the Air Force. No.(46). pp. 79-84.
13. Salnik, S.V., Salnik, V.V., Simonenko, O.A. and Sova, O. Ya(2015). "A method for detecting intrusions into mobile radio networks based on neural networks". Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. No. 4(21). Pp. 82-90.
14. Kravchuk, S.A., Minochkin, D.A. and Sova, O. Ya(2013). "Analysis of directions of increasing the efficiency of functioning of modern satellite communication systems". Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. No. 2(11). Pp. 140-147.

Надійшла (received) 16.09.2020

Прийнята до друку (accepted for publication) 04.11.2020

**Методика оцінювання кібербезпеки
в інформаційно-телекомунікаційній системі спеціального призначення**

І. С. Гаврик, А. В. Шишацький, О. Я. Сова, О. О. Троцько, Г. Т. Ляшенко,
С. А. Паламарчук, Є. І. Нерознак, В. П. Величко

Анотація. Для підвищення ефективності боротьби з кіберзлочинністю, розвинені країни світу досить давно почали відповідні роботи, необхідні для підвищення захищеності власних інформаційно-телекомунікаційних мереж загального та спеціального призначення. Сучасні світові тенденції поширення кіберзлочинності та посилення кібератак свідчать про зростання значення боротьби з нею для подальшого розвитку суспільства, що у свою чергу зумовлює віднесення певних груп суспільних відносин кіберсфери до компетенції правового регулювання. Ситуація, яка склалася на сьогоднішній день з кіберзлочинністю, вимагає постійного удосконалення методів боротьби з кіберзлочинами, розробки інформаційних систем та методів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки країни. Саме тому, авторами зазначеної статті проведено розробку методики оцінювання кібербезпеки в інформаційно-телекомунікаційній системі спеціального призначення. В ході проведеного дослідження авторами використані основні положення теорії зв'язку, теорії масового обслуговування, штучного інтелекту, а також загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Відмінність запропонованої методики від відомих, що визначає її новизну полягає у можливості: виявлення та якісної інтерпретації кіберзагроз; моделюванні сценаріїв екстремальних ситуацій, викликаних реалізацією кіберзагроз; оцінюванні ризиків, що мають ознаки декількох класів і ранжування активів інформаційно-телекомунікаційної системи за ступенем їх критичності; виконати оцінку кількості критично вразливих активів інформаційно-телекомунікаційної системи; обґрунтувати склад і ймовірність реалізації кіберзагроз, здатних викликати екстремальні ситуації в інформаційно-телекомунікаційній системі; проведення оцінювання ризиків від їх реалізації в інформаційно-телекомунікаційній системі. Практична значимість запропонованої методики полягає в тому, що її застосування дозволяє автоматизувати процес аналізу кіберзагроз та оцінки ризиків порушення кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційної системи.

Ключові слова: кіберпростір; кібератаки; захист; кібербезпека; безпека держави, інформаційно-телекомунікаційні мережі, штучний інтелект.

В. О. Дяченко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. Об'єктом дослідження є аналіз існуючих підходів енергозбереження у безпроводних сенсорних комп'ютерних мережах. Обмеження енергетичних ресурсів безпроводних сенсорних комп'ютерних мереж є великою проблемою. Ефективність роботи безпроводних сенсорних мереж сильно залежить від терміну їх служби. Актуальним є використання підходів, що базуються на технології автоматичної динамічної зміни живлення процесору (Dyamic Power Management). Це зумовлює зменшення споживання енергії у вузлах датчиків після розгортання та проєктування сенсорної мережі. Одним з багатьох можливих рішень цієї проблеми є використання інструментів інтелектуального аналізу даних, зокрема штучних нейронних мереж (ШНМ). Такі підходи набули актуальності у зв'язку з тим, що застосування ШНМ дозволяє збільшити енергоефективність у безпроводних сенсорних мережах. Перевагами використання ШНМ є: простота паралельно розподілених обчислень, розподілене сховище даних, надійність даних, автоматизація класифікації вузлів датчиків та зчитування з них. Зменшення розмірності та прогнозування даних датчиків, отриманих з виходів алгоритмами нейронних мереж, може призвести до зниження витрат на зв'язок та економію енергії. Всі ці переваги демонструють сумісність між безпроводними сенсорними мережами та штучними нейронними мережами. Згідно з науковими дослідженнями в цій області, можливе застосування нейронних мереж для зменшення споживання енергії. **Висновки.** Енергозбереження є найважливішим питанням у програмах безпроводних сенсорних мереж, яке слід враховувати у всіх аспектах використання цих мереж. Нейронні мережі як інтелектуальні інструменти демонструють велику сумісність із характеристиками безпроводних сенсорних мереж (БСМ) і можуть застосовуватися в різних схемах їх енергозбереження. У цій роботі представлена класифікація найважливіших застосувань нейронних мереж в питаннях енергоефективності БСМ. Застосування штучних нейронних мереж у БСМ можна узагальнити до прогнозування даних датчиків, злиття датчиків, виявлення кращого шляху, класифікації даних датчиків та кластеризації вузлів. Пропонується використання модифікованого методу карт самоорганізації Кохонена для підвищення ефективності роботи алгоритмів нейронних мереж. Все це призводить до менших витрат на зв'язок та економію енергії в сенсорних мережах.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа; енергозбереження; штучна нейронна мережа; інтелектуальний аналіз даних; карта самоорганізації Кохонена.

Вступ

Якісний моніторинг навколишнього середовища за допомогою безпроводних сенсорних мереж потребує вирішення деяких актуальних питань, які пов'язані з особливостями місцевості їх розміщення: отримання доступу до кожного з датчиків та постійне отримання даних з місць, де людині складно тривалий час перебувати. У зв'язку з цим, продуктивність БСМ у великій мірі залежить від їхнього терміну служби. Таким чином, енергозбереження є серйозним і критичним аспектом при проєктуванні та розвитку безпроводних мереж, а також збільшенням тривалості їх використання. Досягнення бажаного ступеня енергозбереження є доцільним шляхом застосування розумного управління енергетичними ресурсами. Відомим є той факт, що енергоспоживання підсистеми зв'язку є набагато більшим, ніж обчислювальної підсистеми. Дослідження показали, що передача біта даних потребує такої ж кількості енергії, як виконання декількох тисяч інструкцій [2]. Отже, має бути компроміс між завданнями зв'язку та обробки. Споживання енергії радіомодуля в усіх режимах прийому, передачі та холостого ходу є однаковим, тоді як споживання енергії апаратних компонентів радіотракту зменшується принаймні на порядок у режимі сну. Таким чином, ефективним є вимкнення радіомодулю, доки у ньому немає необхідності. Відповідно до конкретного застосування, сенсорна підсистема може бути значним джерелом споживання енергії. У цьому випадку це слід врахо-

увати в енергоефективних підходах. В [2] представлена досконала систематика, яка розділяє всі енергоефективні підходи на три основні групи: циклічне використання, скорочення даних та підходи на основі мобільності (рис. 1).

Останнім часом існує великий інтерес до використання інтелектуальних інструментів, таких як ШНМ [3], в енергоефективних методах БСМ. ШНМ – це арифметичні алгоритми, які здатні засвоїти складне співвідношення між вхідними та вихідними даними відповідно до контрольованого навчання або класифікувати вхідні дані, що задані не відкрито, використовуючи навчання без вчителя [3]. Деякі алгоритми, що розроблені в рамках класичних штучних нейронних мереж, можуть бути легко застосовані до безпроводних сенсорних платформ, і в той же час вони можуть відповідати вимогам до сенсорних мереж, таким як: просте паралельне розподілене обчислення, розподілене зберігання, надійність даних та автоматична класифікація.

Якщо розглянути БСМ з точки погляду зниження витрат на зв'язок та економію енергії, нейронні мережі здатні зменшувати розмірність завдяки власним алгоритмам кластеризації. Однією з таких ШНМ є апарат мереж Кохонена [3]. Централізований характер мереж БСМ, в яких всі дані з вузлів датчиків часто доводиться надсилати на (як правило, зовнішню) базову станцію, дозволяє використовувати здатність нейронних мереж передбачати показники датчиків на базовій станції, що суттєво зменшить непотрібні комунікації та заощадить значну енергію.

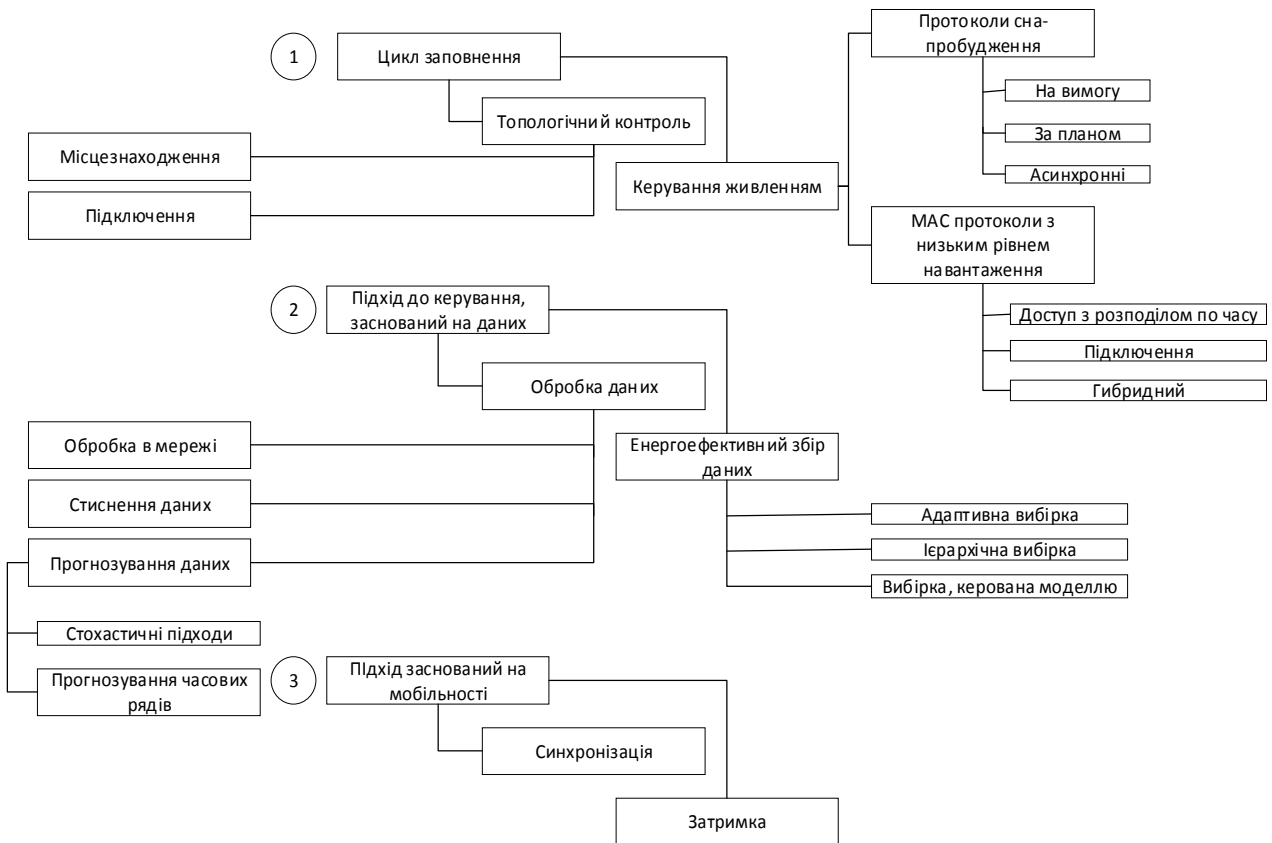


Рис. 1. Підходи до енергозбереження БСМ

Іншим важливим чинником використання методів нейронних мереж у БСМ є аналогія їх з ШНМ. Робота [4] свідчить про те, що ШНМ мають таку саму архітектуру, що і БСМ, оскільки нейрони відповідають вузлам датчиків, а з'єднання відповідають лініям радіозв'язку. Застосування парадигми нейронної мережі в контексті сенсорних мереж може призвести до глибшого розуміння процесів, що відбуваються всередині. З цієї точки розглянемо всю сенсорну мережу як нейронну мережу, і в кожному вузлі датчика всередині БСМ також може працювати нейронна мережа для прийняття рішення. Отже, ефективні реалізації нейронних мереж із використанням простих обчислень можуть замінити традиційні алгоритми обробки сигналів, що дозволяють вузлам датчиків обробляти дані, використовуючи менше ресурсів.

Енергозбереження сенсорних мереж з використанням штучних нейронних мереж

Нейронна мережа – це велика система, що містить паралельні або розподілені компоненти обробки даних (нейрони), що з'єднані топологією. Ці нейрони пов'язані через зважені зв'язки (синапси). Вагові вектори з'єднують мережний вхідний рівень із вихідним шаром. При цьому використовуються арифметичні алгоритми, які здатні засвоїти складні співвідношення між вхідними даними та вихідними (навчання з вчителем), або класифікувати дані, що задані неявно, при навчанні без вчителя. Але виникає проблема обрання відповідної топології нейронної мережі. Цей вибір залежить від властивостей та

найбільш можливих методів вирішення проблеми, а також властивостей самої ШНМ. Необхідно зазначити, що існує багато навчальних правил тренування ШНМ. У більшості цих мереж навчання базується на навчанні на прикладах. Таким чином, набір правильних даних (вхід-вихід) часто передається мережі, і на цих прикладах мережа повинна змінювати значення ваг, щоб, вводячи нові дані, мережа могла повернути правильні результати на вихід.

Однією з найважливіших властивостей ШНМ є здатність розпізнавати дані, на які впливає шум або інші чинники, що іноді призводить до змін в мережі, і видаляти ці зміни після перенавчання. Існують різні типи топологій, кожна з яких має різні можливості відповідно до необхідного застосування. Можливості мережі залежать від її структури, динаміки та правил навчання. Найважливіші програми включають прогнозування, класифікацію та ідентифікацію.

Слід зазначити, що нейронні мережі не є методами енергозбереження і не можуть самостійно допомогти зберегти енергію сенсорним мережам, але вони можуть бути використані в якості інтелектуальних інструментів для більш ефективної роботи існуючих методів енергозбереження. Можливою є реалізація повних ШНМ на кожному окремому вузлі датчика завдяки згаданим раніше аналогії між БСМ та ШНМ.

Енергоефективні підходи, засновані на нейронних мережах, також можуть бути класифіковані відповідно до ролі, яку вони відіграють у них, або відповідно до застосовуваних нейронних топологій.

На рис. 2 представлено класифікацію можливих ролей ШНМ, де перший стовпець відображає роль, яку відіграє нейронна мережа, другий стов-

пець представляє відповідну топологію, що використовується для неї, а третій стовпець - категорію підходу до збереження енергії.

№	Роль, яку відіграє ШНМ	Топологія ШНМ	Категорія технології енергозбереження
1	Енергоефективне відкриття шляху	Карти самоорганізації	Маршрут циклу заповнення
2	Кластеризація енергоефективних режимів	Модифіковані карти самоорганізації	Маршрут циклу заповнення з використанням кластеризації
3	Вибір головного кластера	Модифіковані карти самоорганізації	Маршрут циклу заповнення з використанням кластеризації
4	Агрегування/злиття даних	Карти самоорганізації; мережа з прямим розповсюдженням сигналу та зворотнім розповсюдженням помилки	Скорочення даних в обробці мережі
5	Асоціація даних	Мережа Хопфілда	Скорочення даних в обробці мережі
6	Асоціація мобільних даних	Конкурентноспроможна мережа Хопфілда	Скорочення даних в обробці мережі
7	Контекстна класифікація/ класифікація даних	Карти самоорганізації; ART1	Скорочення даних в обробці мережі
8	Прогнозування даних	Мережа з прямим розповсюдженням сигналу та зворотнім розповсюдженням помилки; мережа Елмана; радіально-базисна мережа	Скорочення даних, прогнозування даних

Рис. 2. Класифікація можливих ролей ШНМ в питаннях енергозбереження

З рис. 2 видно, що деякі можливості нейронних мереж можуть міститися в декількох категоріях енергоефективних методів або можуть бути підмножиною інших категорій (наприклад, асоціація даних є підмножиною злиття даних).

Також показано, що карти самоорганізації, очевидно, мають більше застосування в методах енергозбереження в порівнянні з іншими нейронними топологіями. Хоча це широке застосування цих карт можна пояснити їх сумісністю з багатовимірними даними, самоорганізацією та нечітким характером безпроводної сенсорної мережі.

У цій статті детально розглянемо енергоефективність маршрутизації з використанням карт самоорганізації.

Метою роботи є аналіз карт самоорганізації Кохонена стосовно використання у безпроводній сенсорній мережі з метою енергозбереження.

Сьогодні радіозв'язок є найбільш енергоємним завданням безпроводної сенсорної мережі. Багато досліджень було зосереджено на енергоефективних протоколах маршрутизації для вирішення цієї проблеми.

Маршрутизація – одна з найважливіших проблем безпроводної сенсорної мережі, яка може підтримувати продуктивність мережі. Через енергетичні обмеження кожного вузла в безпроводній сенсорній мережі, маршрутизація повинна здійснюватися таким чином, щоб збалансувати споживання енергії

між усіма вузлами, що веде до продовження терміну служби мережі та забезпечити покриття мережі. Через обмеження обробки даних та енергоспоживання використання штучного інтелекту історично відкидалося.

Однак у деяких спеціальних сценаріях особливості нейронних мереж доречні для розробки складних завдань, таких як виявлення маршруту.

Кластеризація даних в БСМ

Карта самоорганізації Кохонена (КСК) – це неконтрольована нейромережева структура, що складається з нейронів, організованих за регулярною сіткою низьких розмірів.

Кожен нейрон представлений n -мірним ваговим вектором, де n дорівнює розмірам вхідних векторів. Вагові вектори (або синапси) з'єднують вхідний рівень із вихідним шаром, який називається картою або конкурентним шаром.

Нейрони з'єднуються між собою за допомогою функцій сусідства. При цьому кожен нейрон вхідного шару пов'язаний з усіма нейронами вихідного, а всередині шарів зв'язків немає.

На нейрони вхідного шару подаються вектори ознак об'єктів, що кластеризуються.

Як і в звичайній нейронній мережі, вхідні нейрони не беруть участі в процесі навчання і обробці даних, а просто розподіляють вхідний сигнал по нейронам наступного шару (рис. 3).

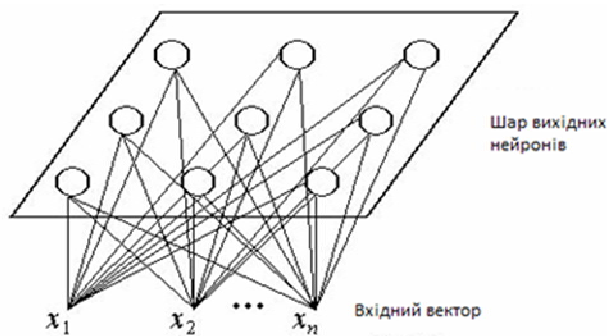


Рис. 3. Модель КСК

Кожен вхідний вектор активує нейрон у вихідному шарі (так званий нейрон-переможець) на основі його найбільшої подібності. Подібність зазвичай вимірюється евклідовою відстанню двох векторів. Важливою відмінністю навчального алгоритму КСК від інших алгоритмів векторного квантування є те, що не тільки найкращі узгоджувальні одиниці (нейрон-переможець), але й його топологічні сусіди будуть оновлені.

У роботі [5] автори запропонували інтелектуальний метод, заснований на нейромережах КСК, що оптимізують маршрутизацію з точки зору енергозбереження та обчислювальної потужності кожного вузла. Цей алгоритм був розроблений для безпроводного сенсорного вузла. Кожен вузол має значення завдяки своїй ролі в маршрутизації, так що вузли, які використовуються більше, ніж інші вузли в маршрутизації, мають більше значення через свої позиції. Визначено параметр Network Life Time (NLT), який є сумою вузлів у маршрутизації в момент часу t та величиною енергоспоживання вузла для маршрутизації. Використано нейронну мережу КСК, щоб визначити кожен вузол, що містить пакет даних, і взяти участь у маршрутизації або скиданні пакету. Алгоритм навчання КСК використовується для навчання нейронної мережі. Як тільки пакет прибуває, його вектор функцій буде витягнутий, і цей вектор буде відправлений до КСК цього вузла як вхід. Мета - максимізувати параметр NLT. Після перемоги вузла в конкурентній боротьбі з іншими вузлами дозволяється відправляти пакет і брати участь у маршрутизації. В іншому випадку він повинен скинути пакет. Оскільки алгоритми навчання КСК зазвичай підпорядковуються лінійним обчисленням, було зроблено припущення, що цей метод може бути ефективним для безпроводних вузлів через їх обмежені обчислення та енергетичні потужності.

Радикальним способом підвищення ефективності роботи обчислювальних засобів є застосування розподіленої обробки даних, при якій передбачається декомпозиція обчислювального процесу, відокремлення незалежних фрагментів і реалізація відповідних обчислень у вигляді незалежних потоків на окремих вузлах наявних обчислювальних систем. Обчислювальна система може бути, зокрема, локально-мережевою або апаратно зосередженою, що реалізована у вигляді комп'ютера загального призначення з багатоядерним процесором або ж реалізована у вигляді БСМ. Представляє інтерес ефективне по-

єднання алгоритмічних рішень з конкретними структурно-апаратними можливостями обчислювальних систем. Наявність паралельних гілок і незалежних блоків виконаного алгоритму має прийматися в розрахунок і реалізовуватися з урахуванням наявних можливостей і структурних особливостей розподіленої обробки даних.

Обмеженням класичних КСК є «покрокова» обробка навчальних образів: елементне пред'явлення вхідних образів і корекція сенсорного поля після обробки кожного з передавальних. Модифіковані КСК [6,7,8] припускають «пакетну» обробку навчальних вхідних даних. Образи навчальної вибірки надходять послідовно, і якщо їх радіус впливу на сенсорне поле не взаємоперетинається, то результуюча корекція сенсорного поля відбувається після (і за результатами) надходження всього пакету. При цьому матриця результуючої корекції будується так, що включає в себе всі окремі корекції, відповідні окремим пред'явленим образам, що проявився на різних непересічних ділянках сенсорного поля. Досягнутий вигравш ефективності забезпечується за рахунок скорочення обробок сенсорного поля і обумовлений обсягом незалежних навчальних образів в «пакеті» (навчальній вибірці).

Кластерна маршрутизація [9] – це найбільш часто використовуваний енергоефективний протокол маршрутизації в безпроводних сенсорних мережах, які уникають архітектури єдиного шлюзу шляхом поділу мережевих вузлів на кілька кластерів, тоді як голова кожного кластера виконує роль локальної базової станції. Алгоритми кластеризації часто використовують топологічне сусідство або суміжність як основний параметр для формування кластерів.

Пропонується кластеризація вузлів датчиків за допомогою КСК, обчислюється для різної кількості вузлів, беручи різні параметри вузла датчика, такі як напрямок, положення, кількість стрибків, рівні енергії, чутливість, затримка тощо. Набір даних спочатку кластеризується за допомогою КСК, а потім кластеризується алгоритмом K-means[3]. Змінними, які слід розглядати як вхідний набір даних SOM, є координати x і y кожного вузла в мережевому просторі та енергетичний рівень їх. Насправді, змінні кластеризації мають два різних типи: відстань та енергія.

Вузли датчиків в даній області зазвичай утворюють чутливий кластер і працюють разом розподіленим і паралельним способом, подібно до шару нейронів. Дані всіх датчиків-членів зондуємого кластера походять з одного контексту, але вони різні, оскільки кожен датчик має різну точку зору через свій різний стан, наприклад його позиція щодо події. Тому ці різні дані вузлів кластера повинні бути стиснуті та злиті за допомогою методів обробки в мережі. Така обробка контекстної інформації здійснюється також ШНМ.

У [10] нейронна мережа КСК була використана для зменшення та класифікації подібних моделей. Було використано КСК в ієрархічній (на основі кластера) мережевій архітектурі, в якій вузли організовані в кілька кластерів з головою кластера або центрами злиття. Знижуючи обсяг даних, що підля-

гають передачі, КСК виконує кластеризацію подібних шаблонів. Ця характеристика дозволяє визначити взаємозв'язки між закономірностями, що призводить до їх класифікації. Цей метод може застосовуватися в додатках, керованих подіями, де КСК може класифікувати подію та підвищити надійність рішення.

Висновки

Енергозбереження є найважливішим питанням у програмах безпроводних сенсорних мереж, яке слід враховувати у всіх аспектах реалізації цих мереж. Нейронні мережі як інтелектуальні інструменти демонструють велику сумісність із характеристика-

ми БСМ і можуть застосовуватися в різних схемах їх енергозбереження.

У цій роботі представлена класифікація найважливіших застосувань нейронних мереж в питаннях енергоефективності БСМ. Застосування штучних нейронних мереж у БСМ можна узагальнити до прогнозування даних датчиків, злиття датчиків, виявлення кращого шляху, класифікації даних датчиків та кластеризації вузлів. Пропонується використання модифікованого методу карт самоорганізації Кохонена для підвищення ефективності роботи алгоритмів нейронних мереж. Все це призводить до менших витрат на зв'язок та економію енергії в сенсорних мережах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Anastasi, G., Conti, M., Francesco, D.M., Passarella, A. (2009), Energy Conservation in Wireless Sensor Networks: a Survey. *Ad Hoc Networks* 7(3), 537–568.
2. Shwe, H.Y., Xiao-hong, J., Horiguchi, S. (2009), Energy Saving in Wireless Sensor Network. *Journal of Communication and Computer* 6(5), 20–28.
3. Руденко, О.Г., Бодянский Е.В. (2002), Основы теории искусственных нейронных сетей [Текст], Харьков: ТЕЛТЕХ., 317 с..
4. Oldewurtel, Frank and Mahonen, Petri, (2006) “Neural Wireless Sensor Networks”, *International Conference on Systems and Networks Communications, ICSNC '06*, pp.28 - 28.
5. Shahbazi, H., Araghizadeh, M.A., Dalvi, M., (2008) “Minimum Power Intelligent Routing In Wireless Sensors Networks Using Self Organizing Neural Networks”, *IEEE International Symposium on Telecommunications*, pp. 354--358.
6. Дяченко, В.А., Михаль О.Ф., Руденко О.Г. (2009), Сеть Кохонена с параллельным обучением // *Управляющие системы и машины*, No 5. – С. 14-18.
7. Дяченко В.О. , Михаль О.П. (2012), Адаптивне паралельне навчання модифікованої самоорганізованої карти Кохонена / *Біоніка інтелекту : наук.-техн. журнал.* – No 1 (78). – С. 85-90.
8. Diachenko, V., Liashenko, O., Mikhal, O., Ibrahim, BF., Koltun Y. (2019) Kohonen network with parallel training: Operation structure and algorithm // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering* 8 (1), pp.35 – 38.
9. Aslam N, Philips W, Robertson W, Siva Kumar SH, (2010) “A multi-criterion optimization technique for energy efficient cluster formation in Wireless Sensor networks”, *Information Fusion*, Elsevier.
10. Mei, L., Haihao, Li., Shen, Y., Fan, J., Huang, SH., (2009) “Elastic neural network method for multi-target tracking task allocation in wireless sensor network”, *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 57, Issue .11-12, pp. 1822—1828.

Received (Надійшла) 10.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 04.11.2020

Intellectual approaches to energy saving in wireless sensor computer networks

V. Diachenko

Abstract. The object of research is the analysis of existing approaches to energy saving in wireless sensor computer networks. Limiting the energy resources of wireless sensor computer networks is a big problem. The efficiency of wireless sensor networks strongly depends on their service life. The use of approaches based on the technology of automatic dynamic power change of the processor (Dynamic Power Management) is relevant. This leads to a reduction in energy consumption in the sensor units after the deployment and design of the sensor network. One of the many possible solutions to this problem is the use of data mining tools, in particular artificial neural networks (ANN). Such approaches have become relevant due to the fact that the use of ANN allows to increase energy efficiency in wireless sensor networks. The advantages of using ANN are: simplicity of parallel distributed calculations, distributed data storage, data reliability, automation of sensor node classification and reading from them. Reducing the dimensionality and prediction of sensor data obtained from the outputs of neural network algorithms can lead to lower communication costs and energy savings. All these advantages demonstrate the compatibility between wireless sensor networks and artificial neural networks. According to scientific research in this field, it is possible to use neural networks to reduce energy consumption. **Conclusions.** Energy saving is a key issue in wireless sensor network applications that should be considered in all aspects of using these networks. Neural networks as intelligent tools demonstrate great compatibility with the characteristics of wireless sensor networks (WSN) and can be used in various energy-saving schemes. This paper presents a classification of the most important applications of neural networks in energy efficiency WSN. The use of artificial neural networks in WSN can be generalized to sensor data prediction, sensor fusion, better path detection, sensor data classification, and node clustering. It is proposed to use a modified method of Kohonen self-organization maps to increase the efficiency of neural network algorithms. All this leads to lower communication costs and energy savings in sensor networks.

Keywords: wireless sensor network; energy saving; artificial neural network; data mining; map of self-organization Kohonen.

S. Indyk, V. Lysechko

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

THE FORMATION METHOD OF COMPLEX SIGNALS ENSEMBLES WITH INCREASED VOLUME BASED ON THE USE OF FREQUENCY BANDS

Abstract. Using known signal ensembles built on the basis of linear and nonlinear recurrent sequences, it is difficult to obtain signal ensembles with large volumes and satisfactory intercorrelation characteristics. **The purpose of the article** is the development of a method for the synthesis of complex signals ensembles of large volume by dividing the spectrum of the descending pseudo-random sequences with low interaction in the time domain into bands with subsequent transmission of the received signals in another range and subsequent permutations. The article presents the results of the development of the formation method of complex signals ensembles of increased volume based on the use of frequency bands using the process of transferring frequency elements in the operating frequency domain of LTE technology and subsequent permutations. Applying multiple filtering to descending pseudo-random sequences with low interaction in the time domain with re-filtering of the received signals and their subsequent permutation allows increasing the maximum volume of the signal ensemble compared to existing complex signal ensembles used in modern radio communication systems with code division multiplexing.

Keywords: multiple access interference, videopulse, signal spectrum width, pulse movement period, cross-correlation function, signal base, low interaction in the time domain, complex signal

Introduction

Problem statement. Improving the modern radio systems and networks functioning efficiency, provided that multiple access to a variety of information resources and technologies is possible through the use of complex signals ensembles with large volumes. Using known signal ensembles built on the basis of linear and nonlinear recurrent sequences, it is difficult to obtain signal ensembles with large volumes and satisfactory intercorrelation characteristics [1 – 3].

The problem of increasing the volume of signals due to subdividing of the descending pseudo-random sequences in the frequency domain with low interaction in the time domain with subsequent transfer to another frequency range and permutations based on the developed method of formation increased volume signals due to spectral bands has been researched in the work.

Recent studies and publications analysis. The literature considers methods of forming complex signals ensembles based on different types of sequences [4 – 8]. Such signals are used in radio communication systems, but in modern conditions, their statistical characteristics do not meet the requirements of effective functioning of modern radio communication systems.

The study of methods for signals volume increasing in ensembles through the use of spectrum bands has not been conducted before, and, therefore, is an urgent task for the formation of complex signals ensembles with large volumes for further use in radio communication systems with code division multiplexing in cognitive radio systems.

The purpose of the article is the development of a method for the synthesis of complex signals ensembles of large volume by dividing the spectrum of the descending pseudo-random sequences with low interaction in the time domain into bands with subsequent transmission of the received signals in another range and subsequent permutations.

Presenting main material

The implementation of increased volume signals due to the use of frequency bands is based on pseudo-random sequences with low energy interaction in the time domain, which are described in [9, 10]. Such sequences are characterized by the same pulse duration, approximately the same pulse period and duty cycle, as well as a different number of pulses in the sequences.

Pseudo-random sequences with low energy interaction in the time domain are signals with a large base, have a low level of cross-correlation, provide a low level of multiple access interference and meet the condition of minimal similarity [10].

In the process of applying bandpass filtering to pseudo-random sequences with low interaction in the time domain, their partitioning was performed at the level of the frequency band. The result of this subdivision is frequency-limited signals, which form new signals to build an ensemble with increased volume.

The ensembles volume based on pseudo-random sequences with low interaction in the time domain, which was taken as a basis, significantly exceeds the volume of the conditionally large signal system, which is described in [4] and is defined as:

$$L_{cep} = C(\alpha) \frac{n^{\alpha-1}}{[\ln(an)]^{3/2}}, \quad (1)$$

where $C(\alpha) = 3\pi^{1/2} a^{-\alpha} 2^{-2} \alpha^{3/2}$;

n – the number of pulses in pseudo-random sequences;

$a \approx 1.6$, according to [4].

The volume of signals ensemble obtained through the use of spectral bands is determined by the value of the superfactorial depending on the number of subdivision bands $(m!-1)$ [11]. A graphical representation of this process is shown in Fig. 1.

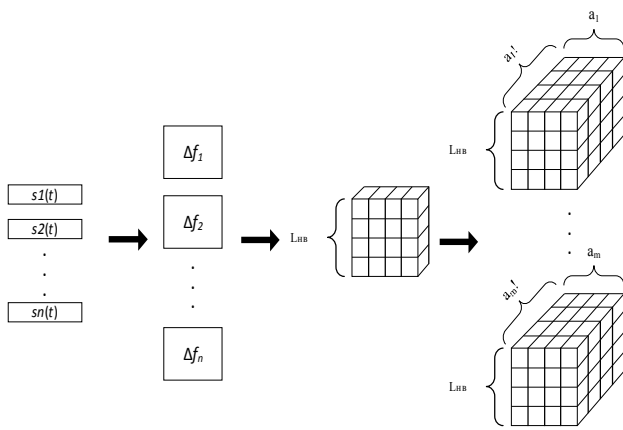


Fig. 1. Graphical representation of the estimation of complex signals ensemble volume

The total number of formed sequences will be determined by the expression (2):

$$L_{\phi} = L_{H6} + L_{H6}(a_1! - 1) + L_{H6}(a_1! - 1)(a_2! - 1) + L_{H6}(a_1! - 1)(a_2! - 1)(a_3! - 1) + \dots + L_{H6} \prod_{i=1}^m (m! - 1), \quad (2)$$

where L_{H6} – the number of sequences in the descending ensemble, on the basis of which the remaining subsidiary ensembles are formed; m – the maximum number of bands into which the sequences are divided; a_1, a_2, a_3 – the filtration bands.

To increase the signal ensemble volume, the frequency transfer of the components obtained as a result of spectral filtering to the range of operating frequency domain of LTE technology was carried out.

Performance of frequency transfer can be represented in the form of the analytical expression described in [12]:

$$F^{-1}\{X(\omega - \omega_0)\} = s(t)e^{-j\omega_0\tau}, \quad (3)$$

where $s(t)$ – the signal obtained by frequency filtering; X – frequency spectrum of the signal; $\omega_0\tau$ – phase shift.

In expression (3), the signal delay leads to a change in the phase-frequency characteristic, which shows the ratio of the harmonic components:

$$\frac{\sin(\omega)}{\cos(\omega)}$$

To further increase the signals volume in the ensemble, it is proposed to use permutations of the obtained frequency segments in the formation of signals in ensembles. An example of the formation of signals ensemble with permutations is shown in Fig. 2.

Fig. 2 shows an ensemble fragment, consisting of four signals, each of which is formed on the basis of permutation of four frequency segments.

The use of permutations in the signals formation in the ensemble allows you to leave the level of minimum similarity of signals at an acceptable level, while increasing the volume of the signal ensemble.

As a result of complex signals ensembles modeling, which are formed due to the use of frequency segments,

to which the transfer to another band was applied and their permutation, intercorrelation properties was analyzed and calculated the values of maximum emissions of side lobes (CCF), the results of which are presented in the Table 1.

Fig. 3 shows the calculating result of CCF and the points of maximum emissions of the side lobes of the CCF for signal ensembles based on the use of bandpass filtering $sf(t)$, signals based on the use of bandpass filtering with frequency transfer $sft(t)$, signals based on the use of bandpass filtering with frequency transfer and permutations of $sftp(t)$.

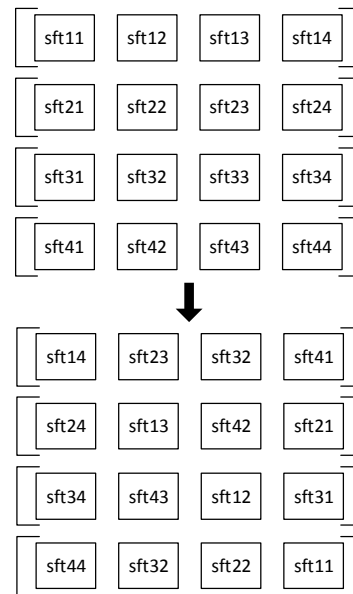


Fig. 2. An example of permutation of frequency segments in a signal ensemble

Table 1 - The calculation results of the maximum emissions of the side lobes of the CCF

	R12	R13	R14	R23	R24	R34
$sf(t)$	0.0056	0.007	0.0071	0.0078	0.0079	0.01
$sft(t)$	0.0056	0.007	0.0071	0.0078	0.0079	0.01
$sftp(t)$	0.0164	0.0085	0.0092	0.0114	0.0121	0.0165

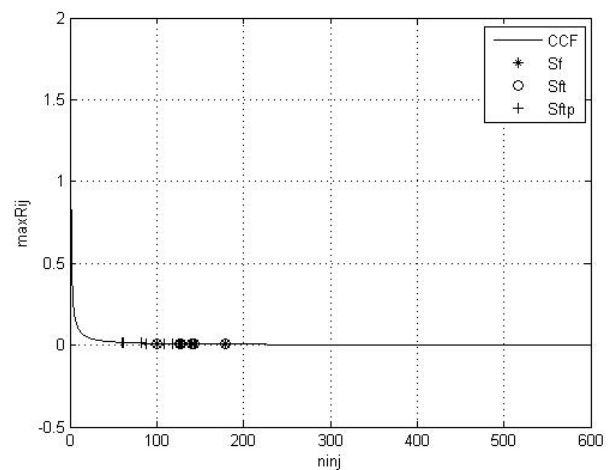


Fig. 3. Graphical representation of CCF calculation and points of maximum emissions of CCF side lobes

From Table 1 and Fig. 3 it is seen that the complex signal ensembles, which are obtained by bandpass filtering and with subsequent frequency transfer and permutations provide the condition of minimum similarity of signals.

The intercorrelation properties of signals based on the use of bandpass filtering coincide with the properties of signals based on the use of bandpass filtering with frequency transfer, and the intercorrelation properties of signals based on the use of bandpass filtering with frequency transfer and permutations deteriorate slightly due to permutations of signal elements.

Conclusion

According to the results of the research, a method of forming complex signals ensembles of increased volume due to the use of spectral bands using the process of transferring frequency elements to the operating

frequency range of LTE technology with subsequent permutations was developed. This approach increases the amount of signals in the ensemble at the specified levels of maximum emissions of the CCF side lobes.

The results of the evaluation of intercorrelation properties show that the obtained signals in ensembles have a fairly low level of cross-correlation, and, accordingly, a low degree of interaction in the time domain, i.e. provide a condition of low similarity of signals. The reliability of the obtained results is confirmed by the use of simulation methods, and the processing of the obtained experimental results was carried out using the methods of mathematical statistics.

In practical terms, the application of forming complex signals ensembles of increased volume method allows you to build cognitive radio systems with code division multiplexing with a much larger number of subscribers with high quality service.

REFERENCES

1. Setoodeh P. Fundamentals of cognitive radio / P. Setoodeh, S. Haykin. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. – 207 p. DOI:10.1002/9781119405818.
2. Sklar B. Digital communication. Theoretical foundations and practical application / B. Sklyar. - Moscow: Williams Publishing House 2003. – 1104 p.
3. Arslan H. Cognitive radio, software defined radio and adaptive wireless systems / H. Arslan. – Dordrecht : Springer, 2007 453p. DOI:10.1007/9781402055423.
4. Varakin L. E. Communication systems with noise-like signals / L. E. Varakin – Moscow : Radio and communication, 1985. – 384 p.
5. Ipatov V. P. Spread spectrum and CDMA: Principles and applications / V. P. Ipatov – Moscow : Technosphere, 2007. – 488 p. ISBN 978-5-94836-128-4.
6. Iacobucci M. S. Reconfigurable radio systems: network architectures and standards / M. S. Iacobucci. – Chichester : John Wiley & Sons, 2013. – 275 p. DOI:10.1002/9781118398401.
7. Petrovich N. T. Communication systems with noise-like signals. / N.T. Petrovich, M.K. Razmakhnin. - Moscow: Soviet Radio, 1969. - 232p.
8. Semenikhin V. S.. Land mobile radio communication / V.S. Semenikhin, I.M. Pyskhyn. - Moscow: Radio and Communication, 1990 - 432 p.
9. Indyk S. Method of permutation of intervals, taking into account correlation properties of segments / S. Indyk, V. Lysechko // Control, navigation and communication system. – 2020. Issue 3 (61). – P. 128 – 130. DOI:10.26906/SUNZ.2020.3.
10. Indyk S. The study of ensemble properties of complex signals obtained by time interval permutation / S. Indyk, V. Lysechko // Advanced Information Systems. – 2020. – Vol. 4, № 3. – P. 85 – 88. DOI: 10.20998/2522-9052.2020.3.11.
11. Sloane N. J. A. The Encyclopedia of Integer Sequences, N. J. A. Sloane, S. Plouffe, Academic Press, San Diego, 1995, 587 p. ISBN 0-12-558630-2.
12. Grishentsev A.Y. Digital broadband systems. Part 1. Introduction to spaces and methods of signal conversion / A.Y. Grishentsev. - SPb: ITMO University, 2019.- 72 p.

Received (Надійшла) 03.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.10.2020

Метод формування ансамблів складних сигналів збільшеного об'єму на основі використання частотних смуг

С. В. Індик, В. П. Лисечко

Анотація. Використовуючи відомі ансамблі сигналів, побудовані на основі лінійних та нелінійних рекурентних послідовностей, важко отримати ансамблі сигналів з великими обсягами та задовільними характеристиками взаємозв'язку. **Метою статті** є розробка методу синтезу складних ансамблів сигналів великого обсягу шляхом ділення спектру низхідних псевдовипадкових послідовностей з низькою взаємодією в часовій області на смуги з подальшою передачею прийнятих сигналів в інший діапазон і наступні перестановки. У статті викладено результати розробки методу формування ансамблів складних сигналів збільшеного об'єму на основі використання частотних смуг із застосуванням процесу перенесення частотних елементів в область робочих частот технології LTE і подальшими перестановками. Застосування багатократної фільтрації до вихідних псевдовипадкових послідовностей з низькою взаємодією в часовій області з повторною фільтрацією отриманих сигналів та їх подальша перестановка дозволяє збільшити граничний об'єм ансамблю сигналів порівняно з існуючими ансамблями складних сигналів, які використовуються в сучасних системах радіозв'язку з кодовим розділенням каналів.

Ключові слова: завада множинного доступу, відеоімпульс, ширина спектру сигналу, період слідування імпульсів, функція взаємної кореляції, база сигналу, низька взаємодія в часовій області, складний сигнал.

O. Makogon¹, O. Dychko¹, O. Isakov¹, R. Lazuta², H. Osmak², L. Trotsko²

¹ Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkov, Ukraine

² Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes of Kruty, Ukraine

SIMULATION AN UNRELIABLE WIRELESS SENSOR NETWORK MOT BY A HETEROGENEOUS QUEUING NETWORK

Abstract. The subject matter of the article is the operation of a wireless sensor network in an unfriendly environment. The goal of the study is the simulation of processes occurring in wireless sensor networks, a comprehensive description of their main modes of operation and the analysis of "bottlenecks" to improve the reliability of the network and minimize threats to its information security. The tasks to be solved are: based on the analysis of the technology for building a wireless sensor network and the functioning of its elements; to determine the reliability characteristics that have an impact on information security; to determine the structure of the Queuing network similar in structure to the wireless sensor network as an object of research; to determine the main characteristics of the sensor network mot as a Queuing network; to determine analytical dependencies for finding the characteristics of an unreliable wireless sensor network mot. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. The obtained results allow us to understand and study the processes occurring in wireless queuing networks and to predict network operation in a hostile environment. The ability to estimate the number of packets lost gives you an understanding of the reliability of network mots. **Conclusions.** Wireless sensor networks can be defined as distributed communication systems. The reliability characteristics of their structural elements have an impact on information security. The wireless sensor network may be simulated by the queuing network. The main characteristics of the sensor network mot can be defined as the characteristics of the queuing network. These analytical dependencies allow you to determine the characteristics of the unreliable node needed to analyze the "bottlenecks", to improve the reliability of the network and minimize threats to the wireless sensor network information security.

Keywords: wireless sensor network, unreliable mot, queuing network, reliability characteristics, information security threats.

Introduction

Formulation of the problem and research tasks. Today, wireless sensor networks (WSN) have defined a new class of distributed communication systems, the use of which in the military sphere is appropriate for determining the location of mobile targets, the territorial spread of chemical weapons, and so on.

In general, the WSN refers to networks consisting of a set of wireless information mots located in space and designed to monitor the parameters of the environment or objects are located in it.

The configuration of the wireless sensor network should be flexible and change depending on the current position in space and power supply capabilities. Sensory nodes usually function in an unfriendly environment. Due to the discharge of power supplies, the buffer overflow of lost packets may cause network mots to shut down.

Under these circumstances, it becomes problematic to predict the behavior of the network under different operating modes and make an estimate of the number of losses, which is necessary to understand the accuracy and reliability of calculations that take place in the process of collecting data by mot sensors and countering threats and attacks.

Thus, the question of study the WNS characteristics, analysis of their properties and development of methods for evaluating the basic characteristics and determining ways to improve the reliability of the functioning of the nodes are **relevant**.

Analysis of recent research and publications. To date, the classification of sensor networks has been carried out, their main properties have been deter-

mined, and software products for implementing a particular network architecture have been analyzed [1-11]. In [12] it was shown that wireless networks are more difficult to protect due to the use of an open environment as a data carrier and the broadcast nature of wireless connections.

Of particular interest are such networks characteristics as the mathematical expectation of the requirements number and the mathematical expectation (ME) characteristics, we should note the mathematical expectation of the lost packages number.

The goal of this issue is the simulation of processes occurring in wireless sensor networks, a comprehensive description of their main modes of operation and the analysis of "bottlenecks" to improve the reliability of the network and minimize threats to its information security

To achieve this goal, it is proposed to model an unreliable sensor network node using a heterogeneous Queuing network.

This **goal** defined the following research tasks:

- based on the analysis of the technology for building a wireless sensor network and the functioning of its elements;
- to determine the reliability characteristics that have an impact on information security; to determine the structure of the Queuing network similar in structure to the wireless sensor network as an object of research;
- to determine the main characteristics of the sensor network mot as a Queuing network;
- to determine analytical dependencies for finding the characteristics of an unreliable wireless sensor network mot.

General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used.

Namely: the position of Queuing theory and fundamentals of systems modeling, distribution of stationary probabilities by an open inhomogeneous queuing network (QN), principles of sensor networks operation. In addition, descriptions of analytical models of network systems and their construction were used.

Main material

1. Technologies in the wireless sensor network.

Let's consider a homogeneous self-organizing distributed monitoring and control WSN intended, for example, for monitoring and managing processes and resources. We will assume that each sensor WSN mot consists of a computing device, receiver, sensors, and power supply.

The computing device consists of a microprocessor and memory.

The microprocessor is designed to analyze and convert data from adjacent network nodes and sensors from that node. Programs and data are stored in the memory of the computing device. The receiver is proposed to be considered as a radio transceiver designed to organize the radio interface between the nodes of the sensor network. The sensor is designed to convert a controlled value (electrical voltage, electric current, temperature, pressure, illumination, oscillations, etc.) into a signal that is easy to measure and convert with a microprocessor.

There are usually several types of sensors in a single sensor network mot. The power supply unit is designed to ensure the operation of all electrical circuits of the sensor network node. Failure of the power supply unit causes the entire mot to stop working. Replacing the power supply unit restores the health of the network mot. Network nodes are able to relay messages from each other in turn, providing a significant area of coverage over the 802.15.4/ZigBee short-range radio Protocol [4, 13].

2. Simulation of a Queuing system (QS). As it is known, a QN is a set of interconnected Queuing systems provide for the reception, storage, processing and issuance of requests received by the service system during the operation of the network. from service sources. QS is also divided into open, closed and mixed. Open ones provide for servicing requirements received from the infinite capacity source and returning back to the source [14].

As the subject matter it is proposed an open Queuing Network consists of two Queuing systems and three classes of requirements.

For ease of presentation, all data in the sensor network node, as well as data entering and exiting the node, will be called requirements. Let's define the requirements of the first, second, and third classes. First-class requirements from node sensors are sent to the microprocessor for processing. The second class of requirements are sent from the network to the host receiver. Requirements of the first and second classes that have been processed by the microprocessor become requirements of the third class and are relayed to

the network. To the microprocessor and the queue of requirements for processing in the microprocessor, we will put the QS S_1 in accordance with a single device (service channel), an unlimited queue and the LCFS service discipline (the last one came – the first one was serviced).

The receiver-transmitter along with the queue of packets to it in the model will display the QS S_2 with one device and an unlimited queue with the FCFS service discipline (first come – first served).

Let's assume that from the source S_0 , the system S_1 receives a Poisson flow of first-class requirements with the intensity of first-class requirements with the intensity λ_{01} .

The requirements that come to the microprocessor from the node's sensors will be considered first – class requirements, and those that are received by the node's transmitter from neighboring nodes will be considered second-class requirements, respectively.

The duration of servicing first-class requirements by the S_1 system is an exponentially distributed random variable with the parameter μ_{11} .

After completing service in the S_1 system, the requirements change their class from first to third and enter the S_2 system.

A Poisson stream of second-class requirements with an intensity of λ_{02} and third-class requirements from the S_1 system is sent to the S_2 service system from the source. The service duration of the second and third class requirements in the S_2 system is an exponentially distributed random variable with the parameter μ_{12} .

After completing service in the S_2 system, second-class requirements enter the S_1 system, and third-class requirements leave the Queuing network. The duration of servicing second-class requirements by the S_1 system is an exponentially distributed random variable with the parameter μ_{12} .

After completing service in the S_1 system, the requirements change their class from second to third and enter the S_2 system.

When the system is functioning, it is possible to create queues for processing packets in the packet processor.

In QN terminology, this phenomenon will correspond to the presence of a buffer with the requirements of the first and second class for the S_1 QS. Similarly, we assume that the buffer in QS S_2 can contain m_2 of requirements of the first and second classes [14]. The structure of the sensor network mot as a Queuing network is shown in Fig. 1.

3. The Characteristics of an unreliable sensor network mot will be determined using the stationary characteristics of the Queuing network.

The state of the Queuing network is determined by a vector $q = (q_{11}, q_{12}, q_{22}, q_{23})$, here q_{11}, q_{12} – the number of requirements in QS S_1 of the first and second class, respectively; q_{22}, q_{23} – the number of requirements in the QS S_2 of the second and third class, respectively. The stationary probabilities $q_{11}, q_{12}, q_{22}, q_{23}$ are uniquely determined by the characteristics of

the systems and can be calculated by known methods, based on the fact that the corresponding values λ_{01} , λ_{02} , μ_{11} , and μ_{12} are known.

A mot that can stop working during operation (for example, due to a failure of the mot's power supply) will be considered unreliable.

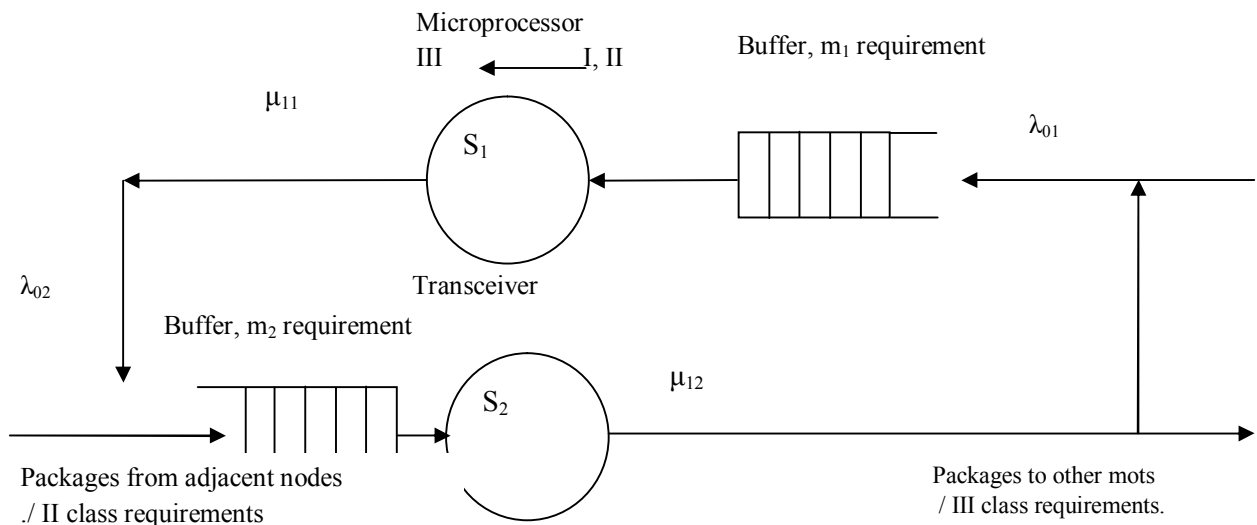


Fig. 1. The structure of the node of the sensor network as a Queuing network

Based on this, we will determine the main characteristics of the sensor network mot as a Queuing network:

- ME of the S_1 systems requirements number;
- ME of the S_2 systems requirements number;
- service network response time;
- ME of the requirements stay time in the S_1 system;
- ME of the requirements stay time in the S_2 system;
- ME of the lost packages number.

The probability that the S_1 system is q_{11} , q_{12} and requirements given by

$$P_1(q_{11}) = P_1(q_{12}) = \left(1 - \frac{\lambda_{01}}{\mu_{11}} - \frac{\lambda_{02}}{\mu_{12}}\right) \left(1 - \frac{\lambda_{01} + 2\lambda_{02}}{\mu_2}\right) \times \left(\frac{\lambda_{01}}{\mu_{11}}\right)^{q_{11}} \left(\frac{\lambda_{02}}{\mu_{12}}\right)^{q_{12}} \left(\frac{\lambda_{01} + 2\lambda_{02}}{\mu_2}\right)^{q_2}; \quad (1)$$

$$P_1(q_{11}) = P_1(q_{12}) = \left(1 - \frac{\lambda_{01}}{\mu_{11}} - \frac{\lambda_{02}}{\mu_{12}}\right) \left(1 - \frac{\lambda_{01} + 2\lambda_{02}}{\mu_2}\right); \quad (2)$$

$q_{11}, q_{12} = 0, 1, 2, \dots$

The probability that the system S_2 is $q_2 = q_{22} + q_{23}$ requirements is determined similarly by the expression

$$P_2(q_2) = \left(1 - \frac{\lambda_0 + \lambda_{02}}{\mu_2}\right) \left(\frac{\lambda_0 + \lambda_{02}}{\mu_2}\right)^{q_2}, \quad (3)$$

$q_2 = 0, 1, 2, \dots$

ME of the S_1 systems requirements number

$$\bar{q}_{11} = \sum_{n=1}^{\infty} n \sum_{m=0}^{\infty} P_1(n, m) \quad (4)$$

$$\bar{q}_1 = P_1(0, 0) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \binom{n}{m} \left(\frac{\lambda_{01}}{\mu_{11}}\right)^m \left(\frac{\lambda_{02}}{\mu_{12}}\right)^{n-m}; \quad (5)$$

$$q_{11} = q_{12} = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Accordingly, the mathematical expectation of the S_2 systems requirements number number of requirements in the system S_2

$$\bar{q}_2 = \sum_{k=1}^{\infty} P_2(k). \quad (6)$$

Service network response time

$$\bar{\tau}_2 = \frac{\bar{q}_1 + \bar{q}_2}{\lambda_0}. \quad (7)$$

ME of the requirements stay time in the S_1 system

$$\bar{u}_1 = \frac{\bar{q}_1}{\lambda_0}. \quad (8)$$

ME of the requirements stay time in the S_2 system

$$\bar{u}_2 = \frac{\bar{q}_2}{\lambda_{01} + 2\lambda_{02}}. \quad (9)$$

Mathematical expectation of the lost packages number Q could be received from sensors to a mot when disabled

$$Q = \frac{\bar{q}_2}{\lambda_{01} + 2\lambda_{02}}. \quad (10)$$

We assume that the recovery time of a node is a random variable that obeys the exponential distribution law with parameter β .

Then Q can be determined by the formula [15].

$$Q = \lambda_{01} / \beta. \quad (11)$$

Thus, the analytical dependencies (1) - (11) make it possible to determine the characteristics of the unreliable node required for the analysis of "bottlenecks", to increase the reliability of the network operation and to minimize threats to the WSN information security.

Conclusions

1. Wireless sensor networks can be defined as distributed communication systems. The reliability characteristics of their structural elements have an impact on information security.

2. The wireless sensor network may be simulated by the Queuing Network.

3. The main characteristics of the sensor network can be defined as the characteristics of the Queuing Network.

4. These analytical dependencies allow you to determine the characteristics of the unreliable node needed to analyze the "bottlenecks", to improve the reliability of the network and minimize threats to the wireless sensor network information security.

REFERENCES

1. Sergiyevskiy, M. "Wireless Sensor Networks", [Online], available at: <http://www.compress.ru/Article.aspx?id=17950>.
2. Karl, H and Willig, A (2005). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, US.
3. Karabutov, A. "Sensor Networks", [Online], available at: <http://offline.computerra.ru/2004/553/35459/>.
4. Xiang, L., (2013), "Design Of Household Control System Based On ZigBee, GSM and TCP/IP Protocol, 10th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA), pp. 1372-1375.
5. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, №2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
6. Nechausov A., Mamusuc I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, №2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
7. Mozhaiev M., Kuchuk N., Usatenko M. (2019) The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2019. Vol. 4 (10), pp. 134-140. doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134>
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук// *Научные ведомости БелГУ*. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
10. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускнув здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
11. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
12. Korchenko, O. Alyeksander M., Nadzhi Abdu and Petrenko, O. (2016), "Analysis of threats and mechanisms for ensuring information security in sensor networks", *Zakhyist informatsiyi*, Vol. 18, no1, pp. 48-56.
13. Stetsenko, I.V. (2010), *Modelyuvannya system: navch. posib*. [Systems Modeling: Tutorial. tool.].: CHDTU, Cherkasy, UA.
14. Tananko, I. Ye. and Dolgov, V. I. (2018), *Fundamentals of system modeling: textbook*. allowance, Nauka, Saratov, RU.
15. Lozhkovsk'yy, A.H. (2010), *Teoriya masovoho obsluhovuvannya v telekomunikatsiyakh* [Queuing theory in telecommunications], Odes'ka natsional'na akademiya zv'yazku, Odesa, UA.

Received (Надійшла) 16.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Моделирование ненадежного узла бездротовой сенсорной сети неоднородную сетью массового обслуживания

О. А. Макогон, О. О. Дичко, О. В. Исаков, Р. Р. Лазута, О. Ю. Осьмак, Л. Г. Троцько

Анотация. Предметом вивчення в статті є функціонування бездротової сенсорної мережі в недружньому середовищі. **Метою дослідження** є моделювання процесів, які відбуваються у бездротових сенсорних мережах, всебічного опису їх основних режимів роботи та аналізу "вузьких" місць задля підвищення надійності функціонування мережі та мінімізації загроз її інформаційної безпеки. **Задачі:** на основі аналізу технології побудови бездротової сенсорної мережі та процесів функціонування її елементів визначити характеристики надійності, що мають вплив на інформаційну безпеку; визначити структуру мережі масового обслуговування, подібну за структурою до бездротової сенсорної мережі як об'єкту дослідження; визначити основні характеристики вузла сенсорної мережі як мережі масового обслуговування; визначити аналітичні залежності для знаходження характеристик ненадійного вузла бездротової сенсорної мережі. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. Отримані результати дослідження дозволяють зрозуміти та вивчити процеси, що відбуваються у бездротових мережах масового обслуговування та спрогнозувати поведінку мережі у недружньому середовищі. Можливість зробити оцінку числа загублених пакетів дає розуміння надійності роботи вузлів мережі. **Висновки.** Бездротові сенсорні мережі можуть бути визначені як розподілені комунікаційні системи. Характеристики надійності їх структурних елементів мають вплив на інформаційну безпеку. Бездротова сенсорна мережа може бути смодельована мережею масового обслуговування. Основні характеристики вузла сенсорної мережі можуть бути визначені як характеристики мережі масового обслуговування. Приведені аналітичні залежності дозволяють визначити характеристик ненадійного вузла, необхідних для аналізу "вузьких" місць, підвищення надійності функціонування мережі та мінімізації загроз інформаційної безпеки бездротової сенсорної мережі.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, ненадійний вузол, мережа масового обслуговування, характеристики надійності, загрози інформаційної безпеки.

G. Sokol, P. Podhornyi, A. Mishenko, R. Piskovyi, D. Herasymov

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine

PROSPECTS FOR THE USE OF MIMO BASED ON IEEE 802.11ac IN IoT TECHNOLOGIES

Abstract. Over time, the requirements on the network and the level of Internet traffic become more demanding. From standard cable connection with a speed of 100 Mbps to the use of Wi-Fi at speeds up to 2.3 Gbps per channel 160 MHz (802.11ac2) with simultaneous provision of multiple input mode - multiple output with multiple users (Multi User Multiple Input Multiple Output, MU-MIMO). In addition, the introduction of 5G mobile communication systems has significantly increased the level of mobile internet traffic. The development of the next generation of 6G with speeds from 100 Gbps to 1 Tbit / s has already begun in the world when controlling the artificial intelligence network, which is planned for 2026-30. In its perspective, the expansion of the range of services based on cloud computing has given a significant impetus to the development of new areas of Internet use. As a result, various concepts based on the Internet of Things (IoT) are being rapidly implemented. As you know, this approach allows you to connect to the Internet any object equipped with sensors or sensors that can receive, transmit and process information, as well as apply different actions depending on the information received. The quality of examples can include "smart home", "smart city" and others. Implementation of communication between objects of opportunities via the Internet using Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, etc. Another, quite new direction is the concept of the Internet of BioNanoThings (IoBNT). As you know, a living cell is already a kind of nanomachine that is controlled by a genetic program. The cell's nucleus is the processor and memory, the mitochondria are the batteries, and the receptor proteins on the cell's surface are sensors that can receive signals, and their slit contacts with other cells can send signals. It only remains to reprogram them for your needs. At the same time, it is necessary to organize communication not only between the cells themselves, but also with the Internet. The cell can transmit bitwise information depending on the state, but at a very low speed. One of the options for implementing communications may be MIMO.

Keywords: Internet, Internet of Things, Internet of Bio-Nano things, MIMO, Wi-Fi, QAM.

Introduction

The Internet is a worldwide system of interconnected networks based on the use of Internet protocols. The Internet consists of a large number of local, global, private, public, academic, business, and government networks interconnected by wired, optical, and wireless technologies. The Internet is the basis for hosting large amounts of information and providing services such as interconnected hypertext documents, e-mail and others..

Modern networks are created on a multilevel basis. Transmission of information in the form of a sequence of bits starting from the level of communication lines and equipment. In turn, communication lines are of different quality. Then comes the level of basic software that controls the operation of the equipment. The next level is the software level, it provides basic software with various additional features. Expanding the functionality of networks by combining levels leads to the fact that you get a very useful and convenient tool.

IoT is a network of interconnected devices that have built-in transmitters and related software that allow them to exchange data between computer systems and the physical world using standard communication protocols. In addition to transmitters, the network can use embedded physical devices and interconnected through wired and wireless networks. Things have the ability to read and activate, the function of programming and identification, and the ability to exclude human participation, through the use of intelligent interfaces.

The term Internet of Things (IoT) was proposed in 1999 by Kevin Ashton, co-founder of the Auto-ID Research Center at the Massachusetts Institute of Technology. And in the same year, a research center was established, which began to deal with radio frequency identi-

fication (RFID) and sensor technology. Due to these areas, this concept has become widespread.

The Internet of Things is becoming quite a popular topic of discussion in both work and everyday life. The concept of directly connecting the device you need to the Internet or another device, including mobile phones, portable devices, coffee makers, headphones, washing machines, lamps and anything else that can come to mind. Also for machine components, a jet engine or even an oil rig. A Gartner analyst said that by 2020, the number of connected devices could reach more than 26 billion. The interaction will take place in pairs of people-things, people-people, and things-things.

The term Internet of Everything (IoE) is also becoming widespread.

The idea of the Internet of Things is quite simple. In general, the Internet of Things can be described as a symbolic formula:

«IoT = Sensors + Data + Networks + Services».

That is, the Internet of Things is a global network made up of computers, actuators and sensors that communicate with each other using Internet protocols such as IP. The concept of IoT plays an important role in the development of information and communication technologies. IoT technology is based on three basic principles: a widespread communication infrastructure, global identification of each object and the ability of each object to exchange data via the local or global Internet to which it will be connected.

Nano-technologies have led to the development of devices that can range in size from one to hundreds of nanometers. In turn, these nano-machines consist of nano-components and are separate functional units that are able to perform measuring, regulating and control operations.

The properties of recently studied nanomaterials, such as graphene, have inspired the concept of the Internet of NanoThings (IoNT), based on the interconnection of nanoscale devices. Nanotechnology is the miniaturization and manufacture of devices in the scale from 1 to 100 nm. The prefix nano means one billionth (1×10^{-9}). Nanotechnology is "a branch of technology that manufactures objects smaller than 100 nm and manipulates individual molecules and atoms." Nanomachines are full-featured devices and are capable to perform trivial tasks. Single nanomachines are capable to perform only trivial tasks, so to perform more complex tasks they must be interconnected to form an Internet of Nano things proposed as the basis for many future applications, such as in the military, health and security fields, where nanotubes, due to their small size, can be easily hidden, implanted and scattered in the environment, where they can jointly perform sounding, operation, processing and networking.

In addition to connecting different devices, Internet of Things technology already has its smoothing, such as The Internet of Bio-Nano things (IoBNT).

Nanoting, like other devices, are artificial in nature because they are based on synthesized materials, electronic circuits and interact through electromagnetic (EM) communications. Although the artificial nature of Nano Internet devices is a favorable factor for many applications, these characteristics can be detrimental to some environments, such as inside the body or in natural ecosystems, where the deployment of nanotubes and their EM radiation can lead to undesirable effects on health or pollution. A new line of research in the field of IoBNT engineering, nanoscale devices and systems, is carried out in the field of biology by combining nanotechnology with synthetic biology tools for control, reuse, modification and reengineering of biological cells. IoBNT serves as a paradigm-changing concept for communication and network engineering, where there are new challenges for developing effective and secure methods for information exchange, interaction and networking within biochemistry, while allowing Internet connection, communication used for communication between nanomachines. Based on the analogy between a biological cell and a typical embedded computing device IoT, the cell can be effectively used as a substrate for the implementation of bio-nano-things, by controlling, reusing and reengineering the functionality of biological cells such as probing, operation, calculation, storage and communication. Because cells are based on biological molecules and biochemical reactions rather than electronics, the concept of the Internet of bio-nanotinning is based on DNA, biochemical data processing, chemical energy conversion, and information exchange through the transmission and reception of molecules called Molecular Communication (MC, Molecular Communication) (Fig. 1).

MC is a paradigm in nanocommunication networks that use molecules to communicate between nanomachines. Molecular communication is biologically inspired, ie it adapts the communication mechanisms that already exist in nature, for communication between living organisms. The human body consists of a large-

scale heterogeneous network in which molecular communication takes place. A living cell is already a kind of nanomachine that is controlled by a genetic program. The cell's nucleus is the processor and memory, the mitochondria are the batteries, and the receptor proteins on the cell's surface are sensors that can receive signals, and their slit contacts with other cells can send signals.

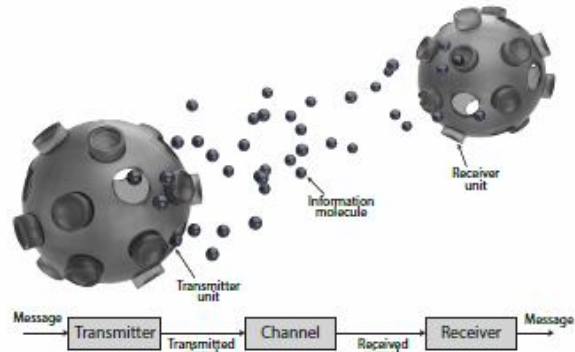


Fig. 1. MC between a pair of nanomachines

The scientific community is currently studying various aspects of MS communication and networking. MS is based on many applications that will be included in IoBNT:

- internal probing and activation of the body, where Bio-NanoThings inside the human body will jointly collect health-related information, transmit it to an external health care provider over the Internet, and execute commands from a single provider such as drug synthesis and release.

- internal connection, where Bio-NanoThings restores or prevents failures in communication between our internal organs, for example, based on the endocrine and nervous systems that underlie many diseases.

- Environmental control and purification: where Bio-NanoThings deployed in the environment, such as a natural ecosystem, will check for toxic and contaminants, and jointly transform these agents by bioremediation, such as bacteria used to clean up oil spills.

The Internet of Things is an open paradigm, extremely receptive and adaptable to new architectures and principles. In this regard, it can be extremely useful to use the principles and methods of cognition, by creating a cognitive Internet of Things (CIoT).

Cognitiveness, the presence of certain properties in an IoT object, such as:

- the ability to self-analysis and readjustment taking into account the existing environment, also aiming to achieve certain goals, which are due to the tasks performed;

- ability to adapt to existing conditions or events, based on certain knowledge of previous states;

- the ability to dynamically change its topology and operating parameters in accordance with user requirements, as part of the service policy, bandwidth optimization or other indicators;

- self-configuration;

- the ability to independently determine their current state and taking it into account - to plan their work, making certain decisions according to the situation.

It is assumed that cognitive Internet of Things will be able to:

- obtain and use knowledge of their operational and geographical environment and location. For example, using GPS technology;
- set yourself or use ready-made rules of interaction between other objects (Internet things);
- dynamically or autonomously adjust their parameters and protocols in accordance with the acquired knowledge to apply them in the tasks, for example, to choose the technology of radio signal transmission;
- learn on their own based on the results achieved using the best and most effective policies to achieve the goals of IoT.

Interaction with the Internet of things occurs in several ways, depending on the software and hardware:

- direct access;
- access through the gateway;
- access through the server.

In the case of direct access, Internet of Things have their own IP address or network alias, which can be used to connect to them from any client application, and they must perform the functions of a web server. The interface with such Internet things is usually made in the form of a web-resource with a certain graphical interface for management through a web-browser.

If the Internet of Things does not have built-in support for IP and HTTP protocols, but only supports private protocols, Bluetooth or ZigBee, you need to use a special Internet gateway to interact with them. And the third form of interaction - through the server, ie the presence of an intermediary between the Internet of Things and the user and can be implemented through an intermediary platform. This approach requires a centralized server or multiple servers, the main tasks of which include:

- receiving messages from sensors of Internet of Things and their subsequent transmission to users;
- storage and processing of received information;
- providing an interface for the user with the possibility of duplex exchange between the user and the Internet thing.

The advent of wireless networks such as Wi-Fi, using the IEEE 802.11 standard, has attracted the attention of mankind. The networks were quickly and well received due to the low price and quite good indicators of agility and reliability. Due to the increase in transmitted traffic in the network posed some difficulties to, at that time, implemented technologies and standards and forced

to improve the technical characteristics of devices and new methods of modulation and signal transmission. The new 802.11b, 802.11a standards, which provided a fivefold increase in transmission speed, and now the universal 802.11g, which provides approximately 54 Mbps at 2.4 GHz.

802.11ac technology only works on Wi-Fi frequencies of 5 GHz. Therefore, dual-band access points often continue to use 802.11n at 2.4 GHz. But 802.11ac Wi-Fi clients operate in the less busy 5 GHz frequency range.

Next, we present a network of working channels Wi-Fi and a frequency of 5 GHz (Table 1).

To calculate the average frequency of a Wi-Fi channel you can use the following formula:

$$F_{mid.} = 5000 + (5 \cdot N) / \text{MHz}$$

where N is the Wi-Fi channel number, for example 36 (5180 MHz), 40 (5200 MHz), etc.

The formation of Wi-Fi channels at 5 GHz is presented below in Fig. 2.

The distance from the limit bands is 30 MHz, and the inter-channel diversity is 20 MHz

Spatial Multiplexing (MIMO) - the use of several transmitting and receiving antennas. Unlike - MISO and SIMO, this option is aimed at increasing the transmission speed, rather than improving the reliability of the transmission. MIMO technology is widely used for data transmission to mobile stations, in good radio conditions, while MISO and SIMO are used for data transmission to stations in poor radio conditions. To increase the data rate in MIMO, the input stream is divided into several data streams, which are independently transmitted from individual antennas (Fig. 3).

Table 1 - Network of working channels Wi-Fi and a frequency of 5 GHz

Chanel	36	40	44	48											
Midle frequency, MHz	5180	5200	5220	5240											
Radio band	UNII-1														
Chanel	52	56	60	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140
Midle frequency, MHz	5260	5280	5300	5320	5500	5520	5540	5560	5580	5600	5620	5640	5660	5680	5700
Radio band	UNII-2														
Chanel	149	153	157	161											
Midle frequency, MHz	5745	5765	5785	5805											
Radio band	UNII-3														

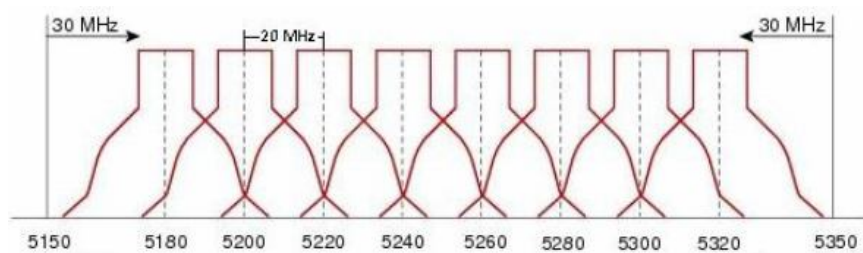


Fig. 2. Formation of Wi-Fi channels in 5 GHz

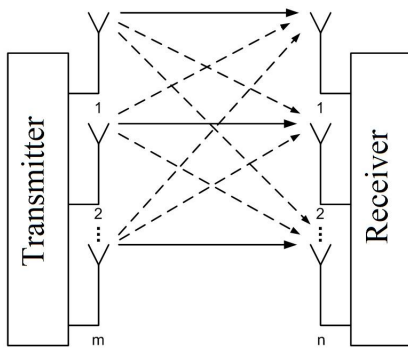


Fig. 3. Generalized scheme of MIMO

Through the use of a common channel, each antenna of the receiving side receives a signal not only intended for it, but also signals from other antennas. In general, the effect of signals, other antennas, can be calculated and minimized in the presence of a transmission matrix. The number of data streams that are transmitted simultaneously depends on the number of antennas used. With the same number of transmitting and receiving antennas, the number of data streams is equal to or less than the number of antennas. In the case of MIMO 4x4, the number of data streams can be 4 or less. If the number of receiving and transmitting antennas are different, then the number of independent data streams is equal to the minimum number of antennas or less. As an example, in MIMO 4x2 the number of streams can be 2 and less. To calculate the maximum bandwidth, the formula is:

$$C = M B \log_2(1 + S/N),$$

where C is the bandwidth of the channel; M is the number of independent data streams; B - channel width; S/N - signal / noise ratio. Depending on the number of users to whom data is transmitted simultaneously, the following types are distinguished:

- Single User MIMO (SU-MIMO) - MIMO technology for data transmission to one user - all data streams are addressed to one user.
- Multi User MIMO (MU-MIMO) - MIMO for data transmission to multiple users simultaneously in the same resource blocks, all independent data streams are addressed to different users. In Fig. 4 an example of a MU-MIMO with two users is shown.

The first generation (First Wave) of WiFi 802.11ac (Wave-1) devices used half-duplex radio technology. Such devices typically use frequency channels up to 80MHz wide and often up to three spatial streams. Therefore, with a relatively rough distribution, we can indicate a low level of 802.11ac products with speeds in the radio channel up to 433 Mbps, an average level with speeds up to 867 Mbps and a high level with speeds up to 1.3 Gbps.

Virtually available speeds for users will be much lower due to the overall efficiency of the 802.11 standards group. As a rule, a maximum of 60% is practically available.

The second generation of 802.11ac products supports frequency channels up to 160 MHz up to four spatial streams and simultaneous communication technology with more than one MU-MIMO (Multi User MIMO) user.

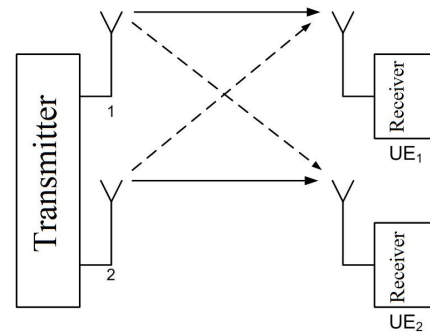


Fig. 4. MU-MIMO with two users

MU-MIMO allows you to send multiple frames simultaneously to many users in the same frequency spectrum. Thus, with multiple antennas and with the help of appropriate technology, the access point can behave as a wireless switch. But the technology is limited from above by the maximum number of available spatial streams. Hence, in the case of three supported spatial streams on the access point and only three client streams (MacBook Pro, for example), only one client will interact with the point, even with MU-MIMO support. Therefore, MU-MIMO looks especially promising for the case when the network is mainly personal mobile devices, such as smartphones and tablets, which have a maximum of 2 spatial streams, but most often one. For the case of smartphones with one thread and point with three threads and MU-MIMO, we will have a case of one to three operation, and point will support up to three clients simultaneously and in parallel.

The second wave of the WiFi 802.11ac standard (Wave-2) is characterized by access points with speeds in the radio channel up to 3.47 Gbps (4 spatial streams, QAM-256, MU-MIMO). The maximum of the 802.11ac standard provides an output at a channel speed of up to 6.93 Gbps with support for up to 8 spatial streams. But 8 streams will require at least 8 antennas (and preferably more) with the necessary diversity, which provides a significant increase in device size and requires more power to work via PoE.

This standard allows the use of 256-QAM modulation with coding efficiencies of 3/4 and 5/6, which increases the transfer rate, as well as the use of multi-user access (MU-MIMO - Multi-user MIMO) and the STA algorithm (Spanning Tree Algorithm). network tree). Also in the 802.11ac standard the access with spatial division of channels (SDMA - Space Division Multiple Access) at which streams are divided not on frequency, and in space is applied.

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) provides digital information stream transmission in the form of an analog signal by dividing the carrier wave into two carriers of the same frequency shifted in phase relative to each other by 90°, each of which is modulated by one of two or more discrete levels amplitude. The combination of all amplitude levels on these two carriers is a binary bit pattern.

The I and Q components are two halves of the bit-stream of the digital stream that are transmitted simultaneously as voltage levels of two identical frequency carriers shifted by 90° (Fig. 5).

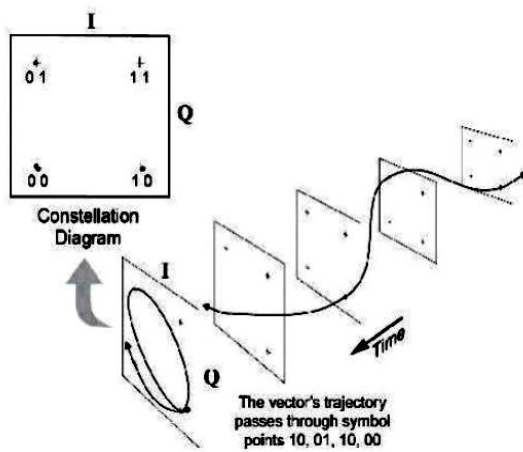


Fig. 5. The constellation diagram shows I / Q vectors. The trajectory of the vector, describing the curve in time, passes through points 10, 01, 10, 00

Component I (incident) modulates the carrier without phase shift. The Q (quadrature) component modulates the carrier with a 90 ° offset.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) is the simplest form of QAM (QAM-4 uses two carriers of the same frequency shifted by 90 ° and two possible amplitude levels, one corresponding to zero and the other corresponding to one). Constellation - a square matrix, where the levels of amplitude I and Q components of the QAM signal, reflected as significant points in the square coordinate system I and Q.

The coordinate I determines the horizontal position of the point, and Q the vertical. The integer value of each obtained point is determined by the cell of the matrix into which it falls. The error is defined as the loss of the measured point from the cell. A QAM-16 diagram is a 4x4 matrix in which each of the 16 cells represents

one of 16 possible binary combinations. The vertical and horizontal position of each point corresponds to the I and Q levels of the amplitude of the signal transmitted during one cycle (Fig. 6).

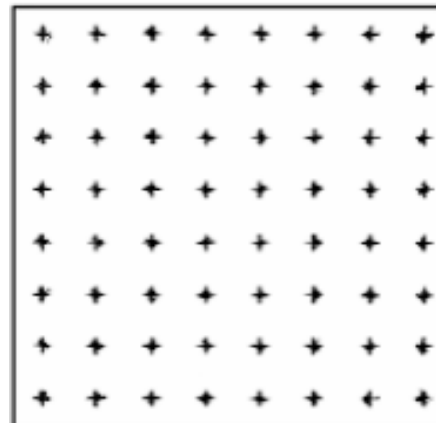


Fig. 6. Signal constellation 64-QAM

It is important to note that the last two options with eight spatial flows at this stage of technology development are unlikely for mass production and application. Moreover, the presence of three channels that do not overlap in 5GHz with a width of 160MHz, each has not yet met in any country in the world. Only the FCC in the United States has come close enough to clear this part of the spectrum and provide maximum opportunities for the implementation of the solution of the Wi-Fi 802.11ac standard.

The coverage characteristics of 802.11ac radios are much higher than 802.11n. Although the maximum speeds of 802.11ac are available relatively close to the access point, the total distances for providing high-speed service are much longer than for 11n devices.

Table 2 – Achievable speeds in the standard 802.11as

Channel bandwidth	Transceiver antennas	Modulation and coding	Device type	Bandwidth (individual)	Bandwidth (total)
80 MHz	1x1	256-QAM 5/6, short separation signal	Smartphone	433 Mbps	433 Mbps
80 MHz	2x2	256-QAM 5/6, short separation signal	Tablet, PC	867 Mbps	867 Mbps
160 MHz	1x1	256-QAM 5/6, short separation signal	Smartphone	867 Mbps	867 Mbps
160 MHz	2x2	256-QAM 5/6, short separation signal	Tablet, PC	1,73 Gbps	1,73 Gbps
160 MHz (MU-MIMO)	4× Tx AP	256-QAM 5/6, short separation signal	Several smartphones	867 Mbps per device	3,47 Gbps
160 MHz (MU-MIMO)	8× Tx AP	256-QAM 5/6, short separation signal	Digital TV, nettop, tablet, PC, smartphones	867 Mbps up to two 1x clients; 1,73 Gbps up to one 2x clients 3,47 Gbps up to one 4x client	6,93 Gbps
160 MHz (MU-MIMO)	8× Tx AP	256-QAM 5/6, short separation signal	Several nettops and PCs	1.73 Gbps to each client	6,93 Gbps

Conclusions

Intercellular diffusion, combined with MIMO technology, is the prospect of a secure communication link in the body. However, at present, the technologies we have allow us to create only a model.

Given the global interest in this topic, investment and rapid technological progress gives hope for the implementation and implementation of bio-nano technologies.

Communication systems always have many obstacles and obstacles for safe and comfortable signal transmission. Sometimes the obstacles themselves help to solve complex problems, the reflection of signals and the passage of certain obstacles that hinted at the im-

plementation of the spatio-temporal distribution of the signal on which there is a partially implemented MIMO technology.

Instead of increasing the bandwidth of one channel, you can get out of the situation by increasing the number of channels and transceivers.

In cases where it is not possible to influence the transmission rate, for example in the implementation of IoBNT technologies where transmission is possible by cell diffusion, which by its nature can not give great results. We can use simpler methods to improve speed and communication in general by applying these technologies in an attempt to implement D-MIMO. This is one of the prospects for development to realize the future.

REFERENCES

1. G. V. Zvyagolska, S. N. Selevko, A. Zugbor State evaluation of Non-Stationary telecommunication system // Telecommunication and radio engineering. – Volume 66. – 2007 – Issue 3.
2. Galina Sokol, Natalia Rvachova. Dynamic system model non-standard state analyses// IEEE Second International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PICS&T2015). – Kharkiv. 2015.
3. Sokol G.V., Rvachova N. V., Kurchanov V.N. Mathematical model of the digital filter Kalman-Bucy in the application of non-stationary traffic // Sp-ka z o.o. «Nauka i studia» – Przemysl (Poland), 2015, Vol-10(141)
4. G.V. Sokol, O.S. Shkurupii, Computer Network Traffic Control / China News Telecommunications, 2014
5. Internet. From Wikipedia, the free encyclopedia. [Electronic resource] // - Resource access mode: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82>
6. Shcho take Internet – korotkyi likbez pro Vsesvitniu pavutynu. [Electronic resource] // - Mode of access to the resource: dzudzylo.com/tsikavo/shho-take-internet-korotkyj-likbez-pro-vsesvitnyu-pavutynu.html
7. Lektsiia 1. Zahalni poniattia Internetu rechei. Boreiko Oleh Yuriiiovych. [Electronic resource] – Resource access mode: <http://academicfox.com/lektsiia-1-zahalni-ponyattia-internetu-rechej/>
8. Ozgur B. Akan On the Physical Design of Molecular Communication Receiver Based on Nanoscale Biosensors / Murat Kuscu, Ozgur B. Akan // 28 Mar 2016.
9. Slyusar' I.I. Analiz tekhnolohii IoBNT / I.I. Slyusar, V.I. Slyusar, P.A. Podhornyy // Abstracts of the 71st scientific conference of professors, teachers, researchers, graduate students and students of the university. – Poltava: PolNTU, 2018. – T. 1.
10. Seyed Mohammadreza Rouzegar Diffusive MIMO Molecular Communication Systems / Seyed Mohammadreza Rouzegar, Prof. Umberto Spagnolini // July 2017.
11. Seyed Mohammadreza Rouzegar Diffusive MIMO Molecular Communication Systems / Seyed Mohammadreza Rouzegar, Prof. Umberto Spagnolini // July 2017.
12. MIMO - Multiple Input Multiple Output. Resource access: <http://anisimoff.org/ite/general/mimo.html>.
13. Seyed Mohammadreza Rouzegar Diffusive MIMO Molecular Communication Systems / Seyed Mohammadreza Rouzegar, Prof. Umberto Spagnolini // July 2017

Received (Надійшла) 23.09.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.10.2020

Перспективи застосування MIMO на основі IEEE 802.11ac в технологіях IOT

Г. В. Сокол, П. А. Подгорний, А. С. Міщенко, Р. В. Пісковий, Д. О. Герасимов

Анотація. Вимоги до мережі рівень трафіку Інтернет стають все більш вибагливі. Від стандартного підключення кабелем зі швидкістю 100 Мбіт/с до використання Wi-Fi зі швидкістю до 2,3 Гбіт/с на канал 160 МГц (802.11ac2) з одночасним забезпеченням режиму множинного входу – множинного виходу з кількома користувачами (Multi User Multiple Input Multiple Output, MU-MIMO). Крім того, впровадження систем мобільного зв'язку 5G дозволило значно підвищити рівень трафіку мобільного Інтернету. В світі вже почались розробки наступного покоління 6G зі швидкостями від 100 Гбіт/с до 1 Тбіт/с при управлінні мережі штучним інтелектом, яке планують на 2026-30 рр. В свою чергу, розширення номенклатури сервісів на базі хмарних обчислень дало значний поштовх до розвитку нових напрямків застосування Інтернету. Як наслідок, швидко впроваджуються різноманітні концепції на основі Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Як відомо, такий підхід надає можливість підключення до Інтернету будь-якого об'єкту, оснащеного датчиками або сенсорами, що можуть отримувати, передавати та обробляти інформацію, і виконувати певні дії в залежності від отриманої інформації. В якості прикладів можна вказати «розумний будинок», «розумне місто», та ін. Реалізація зв'язку між об'єктами можлива через Інтернет з використанням технологій Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee та ін. Ще одним, досить новим напрямком є концепція Інтернету біонаноречей (Internet of BioNanoThings, IoBNT). Як відомо, жива клітина – вже є своєрідною наномашиною яка керується генетичною програмою. Процесором і пам'яттю виступає ядро клітини, мітохондрії служать батарейкою а білки-рецептори на поверхні цієї клітини – це сенсори, які можуть сприймати сигнали, а їх клітинні контакти з іншими клітинами, можуть відправляти сигнали. Залишається лише перепрограмувати їх для своєї потреб. При цьому, потрібно ще організувати зв'язок не тільки між самими клітинами, але і з мережею Інтернет. Клітина може передавати побітову інформацію в залежності від стану, але з дуже низькою швидкістю. Одним з варіантів реалізації комунікацій може стати MIMO.

Ключові слова: Інтернет, Інтернет речей, Інтернет біонано речей, MIMO, Wi-Fi, QAM

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абдалла А.	69	Кучук Г. А.	47	Роянов О. М.	102
Андрушко М. В.	9	Лада С. В.	43	Рубан І. В.	59
Аркушенко П. Л.	9	Лазуга Р. Р.	122	Саланда І. П.	64
Бабій Н. В.	64	Ларін В. В.	69	Самокіш А. В.	15
Борщ В. В.	4	Левченко Л. О.	98	Северінов О. В.	55
Борщ О. Б.	4	Лисечко В. П.	119	Сова О. Я.	109
Величко В. П.	109	Ліберг І. Г.	47	Сокол Г. В.	126
Верховський В. В.	15	Ліпчанський М. В.	51	Стецюк Є. І.	92
Гаврик І. С.	109	Любченко Н. Ю.	88	Тимочко О. І.	69
Гарбуз С. В.	102	Лютій А. В.	69	Тихенко О. М.	98
Гейко Г. В.	88	Ляшенко Г. Т.	109	Толкачов А. М.	102
Герасимов Д. О.	126	Мажара О. О.	81	Толкунов І. О.	92
Гонтарева Д. В.	73	Макогон О. А.	122	Торба А. А.	21
Дем'яненко В. О.	40	Мартовицький В. О.	73	Торба М. О.	21
Деркач Т. М.	77	Матухно В. В.	92	Торба О. О.	21
Дичко О. О.	122	Мельничук Ю. Є.	64	Третяков О. В.	102
Дмитренко Т. А.	77	Міщенко А. С.	126	Троцько Л. Г.	122
Дяченко В. О.	114	Можаєв М. О.	59	Троцько О. О.	109
Єрмілова Н. В.	25	Можаєв О. О.	47	Ушань В. М.	15
Захарченко Р. В.	31	Нерознак Є. І.	109	Філімончук Т. В.	73
Іванець Г. В.	92	Осьмак О. Ю.	122	Флорін О. П.	9
Іванець М. Г.	92	Павленко М. А.	15	Фурман О. А.	64
Ільїна І. В.	59	Паламарчук С. А.	109	Харченко В. С.	34
Ільяшенко О. О.	51	Пісковий Р. В.	126	Чередник О. С.	77
Індик С. В.	119	Подгорний П. А.	126	Шаповалова С. І.	81
Ісаков О. В.	122	Поддубний В. О.	55	Шейн І. В.	9
Ічанська Н. В.	40	Подорожняк А. О.	88	Шефер О. В.	4, 9
Касаткіна Н. В.	98	Попов І. І.	92	Шишацький А. В.	109
Кислиця С. Г.	25	Пуйденко В. О.	34		
Кольвах С. С.	31	Пустомельник О. С.	55		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (62)

Відповідальна за випуск *К. С. Нестеренко*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*Оформлення обкладинки *І. В. Ільїна*

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

Підписано до друку 27.11.2020. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 16,5. Тираж 120 прим. Зам. 1127-20

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.

Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: bookfabrik@mail.ua