

Національний університет
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

СИСТЕМИ управління, навігації та зв'язку

Control, navigation and communication systems

Випуск 4 (66)

Issue 4 (66)

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 1 грудня 2021 року № 6).

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

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

Полтава • 2021

Редакційна колегія

Головний редактор:

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

Заступники головного редактора:

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

Члени редакційної колегії:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович
(*д-р техн. наук, проф., Ізраїль*);
БОГОМ'Я Володимир Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ВАРБАНЕЦЬ Роман Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Одеса, Україна*);
ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф
(*д-р техн. наук, проф., Польща*);
ГАВРИЛКО Євген Володимирович
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли
(*д-р наук, проф., Баку, Азербайджан*);
ГЛИВА Валентин Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ДАКІ Олена Анатоліївна
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*);
ЗАЩЕПКИНА Наталія Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, 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*);
ЛЕВЧЕНКО Лариса Олексіївна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович
(*д-р техн. наук, проф., Німеччина*);
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*);
ТИМОЩУК Олена Миколаївна
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
ТРИСТАН Андрій Вікторович
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);
ФРОЛОВ Євгеній Андрійович
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*);
ЧОРНИЙ Олексій Петрович
(*д-р техн. наук, проф., Кременчук, Україна*);

Відповідальний секретар:

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

Технічний секретар:

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

Editorial board

Editor-in-Chief:

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

Associates editor:

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

Editorial board members:

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

Responsible secretary:

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

Technical secretary:

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

З М І С Т

АВТОМОБІЛЬНИЙ, РІЧКОВИЙ, МОРСЬКИЙ ТА АВІАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Масягін В. І., Іванюк В. О., Конох К. М., Григоренко А. М.</i> Вплив відбору повітря на тягу двигуна	4
<i>Федотов Д. О., Клімов О. П., Тимофєєв В. Д., Шматков В. А., Горохівська Н. В., Бобров О. Г.</i> Динаміка збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні	8

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Захарченко Р. В.</i> Дослідження роботи систем автоматичного керування електроприводами контактних електровозів рудних шахт	11
<i>Калінін Є. І., Коломійцев О. В., Рибальченко, А. О.</i> Взаємна кореляція узагальнених координат багатовимірної лінійної системи	16
<i>Kapiton A., Baranenko R., Tyshchenko D., Franchuk T.</i> The theory of synergetics as a methodological basis for the development of nonlinear processes IT industry	20
<i>Леонов С. Ю., Кліцов Б. Р.</i> Дослідження впливу перехресних перешкод на роботу електронного пристрою	23
<i>Makogon O., Slavutskiy E., Churbanov M., Logvinenko O., Iksarytsa V., Anenkova O.</i> Dynamic monitoring of technical condition of starter batteries in the process of their life cycle according to battery care and battery management procedures	27
<i>Рибак О. В.</i> Система автоматизованого проектування для визначення оптимальних параметрів шліфування покриттів	33
<i>Шановалова С. І., Бараніченко О. М.</i> Програмно-апаратна реалізація автоматичної підтримки прийняття рішень в системах електропостачання	38
<i>Янко А. С., Мартиненко А. М., Бут О. В.</i> Методи використання SIMD інструкцій на x86 сумісних процесорах старшого покоління	44

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Ivohin E., Gavrilenko V., Vavryk P.</i> One method for estimation audience overlap in social media	48
<i>Kapiton A., Diachenko O., Zakharov R., Yanchuk T.</i> Systematic approach application to the development for the site of university scientific activity	52
<i>Малохвій Е. Е., Бугай В. С., Молчанов Г. І., Черних О. П.</i> Аналітичний огляд та порівняння сучасних JavaScript рішень для розробки веб-застосунків	55
<i>Міхав В. В., Мелешко Є. В., Якименко М. С., Бащенко Д. В.</i> Методи зберігання даних рекомендаційної системи на основі зв'язних списків	59
<i>Ткачов В. М., Гальченко К. Р., Коваленко А. А., Єрошенко О. А.</i> Критерії вибору стандарту безпроводної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах	63
<i>Філімончук Т. В., Плюта А. О.</i> Структура інформаційної системи, що орієнтована на онлайн-навчання	69
<i>Shmatko O., Goloskokova A., Korol O., Rahimova I.</i> Comparison of machine learning methods for a diabetes prediction information system	73
<i>Шостак А. В.</i> Про особливості формування дескрипторів у сіамській нейронній мережі	79
<i>Янко А. С., Шефер О. В., Денисенко Я. Е.</i> Побудова математичної моделі спецпроцесора обробки криптографічної інформації на основі використання основних властивостей непозиційних кодових структур	83

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Касаткіна Н. В., Панова О. В., Николаєв К. Д.</i> Інноваційні підходи до нормалізації якості повітря виробничого середовища	87
<i>Ковальова А. В.</i> Виробничий ризик від постійного шумового навантаження для робітників відкритого повітря	90

ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Ємець Н. І., Голь В. Д., Бердников О. М.</i> Аналіз можливостей мережі IP/MPLS для застосування механізмів QoS	94
<i>Яровий В. С., Радзівілов Г. Д., Борисенко М. В., Куценко В. В.</i> Методики діагностування джерел електроживлення портативних радіостанцій Motorola	99

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	104
----------------------------------	-----

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 629.7.035

doi: 10.26906/SUNZ.2021.4.004

В. І. Масягін, В. О. Іванюк, К. М. Конох, А. М. Григоренко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

ВПЛИВ ВІДБОРУ ПОВІТРЯ НА ТЯГУ ДВИГУНА

Анотація. Тяга – найважливіший критерій для визначення швидкопідйомності літака, вона залежить від кількості повітря відібраного з атмосфери, яке надходить в двигун. Є ряд систем і пристроїв, які забезпечують функціонування ГТД, що працюють на повітрі, яке відбирається з компресора, енергія якого в подальшому повністю або частково не використовується для створення тяги або потужності. В даній статті представлено аналіз відбору повітря з двигуна і вплив його на тягу, а також модернізації силової установки, які дозволять в майбутньому повністю або частково мінімізувати втрати повітря і зменшити вплив втрат на тягу двигуна та збільшити його економічність.

Ключові слова: відбір повітря, тяга двигуна, охолодження, непродуктивні втрати, економічність.

Вступ

Постановка проблеми. Тяга – одна з найважливіших факторів для визначення швидкопідйомності літака, а саме, наскільки швидко літак може піднятися на потрібну висоту [1]. Завдяки аналізу формули Стечка Б.С.:

$$P = G_T c_c - G_{II} V + (p_c - p_n) F_c. \quad (1)$$

Знаначаємо, що тяга прямо пропорційно залежить від масової витрати повітря. Ефективна робота літака безпосередньо залежить від відібраного повітря з атмосфери, яке надходить в двигун, пропорційно зменшенню кількості повітря погіршуються тягові характеристики літака.

Є ряд систем і пристроїв, які забезпечують функціонування газотурбінних двигунів (ГТД), що працюють на повітрі, яке відбирається з компресора, енергія якого в подальшому повністю або частково не використовується для створення тяги або потужності ГТД. На здійснення цих функцій може розходитись більше п'ятої частини повітря, що надходить на вхід в ГТД, що сильно впливає на тактико-технічні і льотно-технічні характеристики літаків, які є на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення економічності та збільшення тяги двигуна за рахунок зменшення витрат повітря посвячено значна кількість публікацій [2; 7-10].

У даних публікаціях, в основному, розглядаються питання впливу відбору повітря з компресора ГТД на тягу двигуна, шляхи зменшення кількісних втрат повітря але не розглядаються детально на які саме нужди витрачається повітря і як саме впливає на тягу двигуна.

Мета статті – аналіз впливу відбору повітря з компресора на тягу двигуна та шляхи зменшення втрат повітря конструктивно-технологічними і експлуатаційними заходами з метою підвищення його тягових характеристик.

Виклад основного матеріалу

Серед систем, які забезпечують функціонування ГТД є пристрої, які працюють на повітрі, яке відбирається з газоповітряного тракту, енергія якого в подальшому повністю або частково не використовується для створення тяги чи потужності ГТД. Сукупність цих пристроїв і потоків, які протікають в них, створюють повітряну систему ГТД, яку часто називають системою вторинних повітряних потоків [2].

Повітря, яке відбирається з компресора, виконує різноманітні функції:

1. Охолодження деталей гарячої частини двигуна.

Рівень досконалості двигуна прямо пропорційний температурі газу перед турбіною. З підвищенням T_r^* , температура елементів, як турбіни, так і компресора так само збільшуються. Високі температури деталей двигуна значно знижують здатність сприйняття механічного навантаження і, отже, ресурс деталі. Для забезпечення надійності деталей турбіни передбачено їх охолодження. Задні полості лопаток соплового апарату, диск і робочі лопатки турбіни, компресора, корпусу турбіни, лопатки соплового апарату турбіни вентилятора і її диск з лівої сторони охолоджуються повітрям через отвори в корпусі камери згорання поступають в теплообмінник, там охолоджується на 150 – 220К і через клапанний апарат йде на охолодження деталей турбіни. Згідно чисельним експериментальним даним витік в проточну частину 1% охолоджуючого повітря знижує ККД на 1-1,5% в залежності від місця наддуву, його напрямку та інтенсивності [3].

2. Наддув ущільнень масляних порожнин і охолодження опор.

Працездатність опори залежить від параметрів середовищ, що оточують і знаходяться всередині масляної порожнини.

На двигуні АЛ-31Ф виконана система наддуву опор яка призначена для захисту газоповітряного тракту двигуна від попадання масла з опор роторів.

3. Розвантаження радіально-упорних підшипників.

Різниця осьових сил, що діють на компресор і турбіну, сприймається РУП. Навантаження, що діє на радіально-упорний підшипник повинно бути в межах 5-30кН. У разі, якщо зусилля перевищує допустиме значення, то одним із шляхів по її зменшенню є введення розвантажувальних порожнин, обмежених ущільненнями [2].

4. Управління радіальними зазорами турбокомпресора.

На коефіцієнт корисної дії компресора і турбіни дуже істотний вплив роблять значення радіальних зазорів між елементами ротора і статора. Зазори призначають таким чином, щоб виключити зіткнення ротора і статора зменшити до мінімуму врізання гребінців ущільнень в покриття, які спрацьовують. Більшість двигунів, що мають системи управління радіальними зазорами, застосовують системи, що впливають на температурний стан статорних деталей шляхом управління кількістю повітря, використовуваного для їх обдування.

5. Протиоблідувальна система двигуна

Призначена для запобігання зледеніння кока, вхідного направляючого апарату і приймачів температур і тиску, відбирається повітря від сьомої ступені компресора високого тиску (КВТ). Двигуни, які мають ВНА, вимагають його обігріву на висотних режимах роботи для захисту від обмерзання. «Гаряче» повітря, що проходить через пустотілі вхідні напрямні апарати (ВНА), далі зазвичай використовується для обігріву кока.

6. Потреби літака.

Повітря для потреб літака підводиться зазвичай для надуву та герметизації кабіни літака, обдуву скла літара кабіни, охолодження обладнання, кондиціонування і роботи протиоблідувальної системи літака. Для збереження конкурентоспроможності і попиту на двигуни, розробники застосовують в проектуванні новітні методики і програмні пакети, підвищують робочі температури.

Одним із методів є створення математичних моделей різного типу, їх визначають, як «зображення істотних сторін реальної системи або її конструкції в зручній формі, що відображає інформацію про систему» [10], прийнято допущення, що відбір повітря відбувається за компресором, що збільшує потрібну потужність компресора і вноситься похибка в термогазодинамічні розрахунки. Вона служить для визначення даних двигуна на різних режимах експлуатації, описання робочого процесу в елементах двигуна, зв'язок між тиском, температурою, витратою повітря і газу в різних точках тракту двигуна. Наявність таких даних є необхідною умовою для подальшого проектування вузлів та систем двигуна, в тому числі і для розрахунку системи внутрішнього повітропостачання і проектування ущільнень. [8].

Також, застосовують програма розрахунку систем охолодження газових турбін. Розроблений метод розрахунку заснований на представленні системи охолодження у вигляді графа, з якого виділяються базисні хорди і будується мінімальне дерево. Роз-

рахунок виконується методом послідовних наближень з урахуванням підігріву повітря в каналах системи охолодження. Це зроблено з метою визначення параметрів потоку по всій мережі за відомою геометрією каналів і значенням газодинамічних параметрів [4, 5]. Ліквідація непродуктивних витоків охолоджуючого повітря являє собою одну з найбільш важливих і найбільш значних по одержуваному ефекту завдань при проектуванні двигуна, а зокрема, турбіни. Витік кожного відсотка повітря витрати в радіальний зазор приводить до рівного за величиною зменшення ККД ступені турбіни, а значить зменшення тяги двигуна.

Двигун використовує повітря з компресора для охолодження, це приводить до відносного зниження тяги двигуна та його економічності, тим самим знижує ефективність двигуна (на максимальних режимах знижується питома тяга, на крейсерських режимах роботи збільшується питома витрата палива). Кожен відсоток витрати повітря, яке охолоджує лопатки ТНТ і відібраного з останньої ступені КНТ, може призвести до втрати потужності чи зниженню ефективного коефіцієнта корисної дії турбіни [6].

Успішне вирішення задач втрат повітря неможливо без застосування нових матеріалів та технологій виготовлення, регулювання подачі повітря до елементів, які охолоджуються. Використання нових матеріалів є одним з найбільш дієвих засобів збільшення ефективності і надійності турбіни. Вони дозволяють безпосередньо збільшувати здатність турбіни працювати при більш високих температурах зі збереженням КПД і витрати охолоджуючого повітря. Найбільш прогресивним є використання керамічних теплозахисних покриттів. Наприклад, фірма «Siemens» на своїх великих циліндричних камерах застосовує керамічні плитки, не пов'язані жорстко з основною конструкцією, а в газозбірнику – металеві плитки, покриті керамікою [5].

Одним із методів зменшення втрати повітря з газоповітряного тракту двигуна, для зменшення внутрішніх перетікань повітря (газу) з області з підвищеним в область зі зниженим тиском газового тракту двигуна, для зменшення або повного усунення витоків рідин в агрегатах і опорах валів, для виключення витоків в зчленуваннях корпусів, трубопроводів є використання ущільнень. Зменшення витоків і перетікання повітря (газу) в газоповітряному тракті двигуна веде до підвищення ефективності ГТД як теплової машини. В турбінах для ущільнення стиків між статорними деталями застосовуються пружинні кільцеві ущільнення, W-образні в перерізі ущільнення, а для роторних деталей - ущільнення дротом, яка за рахунок власного відцентрового навантаження ущільнює стик [7].

Впровадження щіткових ущільнень, також є одним з ефективних способів зменшення витоків повітря. Вони являють собою пучки дроту з дуже твердого сплаву (наприклад, на основі кобальту). Гнучкість отриманого пучка є головною перевагою щіткових ущільнень і дозволяє йому забезпечувати мінімальний зазор і мінімальні витoki на всіх режимах роботи. Постійний контакт і стабільно мініма-

льні витоки дають ЩУ значну перевагу приблизно в 20% (в деяких джерелах до 40%) величини витоку. Характеристики ЩУ залежать від зносу (окружної швидкості і якості покриття на протилежній поверхні ротора). Оптимальне покриття (нанесений за допомогою плазми карбід хрому) в два рази зменшує знос. ЩУ досить добре показали себе в експлуатації в стаціонарних турбінах «GE Power Systems» [5].

На деяких двигунах для зменшення температури охолодного повітря і забезпечення його надійного входження в канали охолодження РЛ повітря підводиться з попереднім закрученням у бік обертання робочого колеса $cu = u$. Для цього встановлюють апарат супутнього закручення. У решітках лопаток апарата супутнього закручення, повітря розширюється, що супроводжується зниженням його температури. У результаті закручення досягається осьовий вхід $w = ca$ у канали диска (між ніжками лопаток) без гальмування потоку, а зниження температури повітря визначається за формулою:

$$\Delta T^* = T_c^* - T_{ca}^* + \frac{c^2}{2 \cdot (k/(k-1)) \cdot R} - \left(T + \frac{c_a^2}{2 \cdot (k/(k-1)) \cdot R} \right) = \frac{u^2}{2010}$$

і може досягати величини $\Delta T^* = 70 \dots 80$ К. Якщо врахувати, що на крейсерських режимах (на яких двигуни працюють 80...90 % часу) температура газу нижче, ніж на злітному режимі на 150...200 К, то на початковому стані потік повітря, що надходить в охолоджувані лопатки, можна зменшувати для підтримки економічності роботи двигуна [6].

При польотах з надзвуковою швидкістю маневрених літаків з багаторежимними двигунами необхідна значна температура газу за камерою згоряння для досягнення високих значень тяги. Але це змушує організувати і суттєві відбори повітря на охолодження лопаток соплових апаратів і лопаток робочого колеса турбіни. Особливо перших її ступенів. На крейсерських, дозвукових режимах польоту температура газу перед турбіною на кілька сотень градусів менше і збереженні великих відборів повітря на охолодження турбіни надмірно, воно тільки погіршує газодинамічні параметри циклу двигуна [11, 12]. Для економної витрати повітря, яке використовується для охолодження турбіни на різних режимах роботи двигуна реалізовано регулювання подачі повітря до охолоджувальних лопаток турбіни, не зважаючи на ускладнення конструкції двигуна.

На двигуні АЛ-21Ф є система управління охолодженням турбіни (рис. 1), яка призначена для включення і виключення подачі повітря на охолодження турбіни на режимах, близьких до максимального. При включеному охолодженні кількість повітря, яке подається на охолодження турбіни, збільшується у 2,5 – 3,0 рази. Для подачі повітря в керуючу порожнину клапанного апарата відключення в систему входить агрегат управління охолодженням (рис. 2) [5, 11]. Також існують спеціальні заслінки у вигляді нещільно прилягаючої до відповідної деталі кільця, повертаючись навколо осі двигуна з допомогою механізму управління, відкриває або закриває отвори для подачі повітря на охолодження задньої частини пера лопаток першого соплового апарату, робочої

лопатки і другого соплового апарату. При закритих отворах охолоджуючий повітря потрапляє в лопатки, проходячи через зазор між поворотною заслінкою і розподільним кільцем. Така система дозволяє на крейсерських режимах роботи двигуна витрачати менше повітря на охолодження і зменшувати витрату палива [2]. На ТРДФ АЛ-21Ф-3 реалізовано припинення подачі охолоджуючого повітря в турбіну на крейсерських режимах для підвищення економічності двигуна. Збільшення дальності польоту літаків за рахунок регулювання подачі повітря до охолоджуваних лопаток соплових апаратів і робочим лопаток турбіни ТРД склало від 4 до 5% [5, 13].

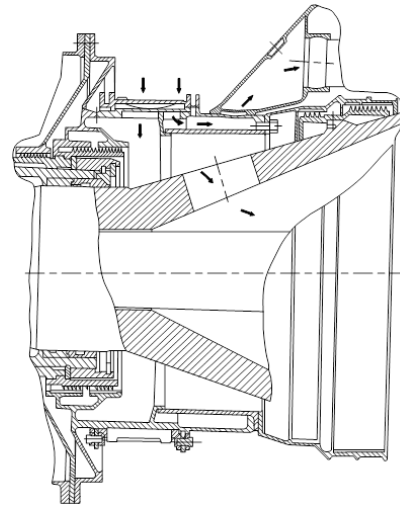


Рис. 1. Система управління охолодженням [14, С.57]

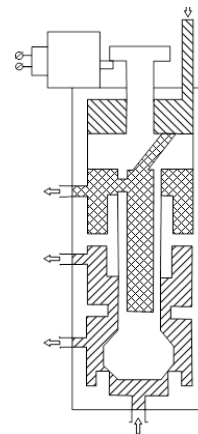


Рис. 2. Агрегат управління охолодженням, розроблено авторами за даними [13, С 1520]

При створенні високотемпературних ГТД найбільш складною проблемою є забезпечення надійної роботи елементів, які піддаються впливу великим механічним і температурним напруженням. Для цього проектують ряд систем, які забезпечують охолодження частин двигуна та регулювання подачі повітря і тим самим мінімізують втрати повітря.

Завдяки модернізації двигуна АЛ-31Ф літака СУ-27 можливо отримати приріст тяги в 7% і зменшення витоків повітря на 4% (рис. 3). Судячи за наявними відомостями у відповідній науковій літературі, застосування систем регулювання подачі повітря до охолоджуваних лопаток соплових апаратів і

робочим лопаток турбін на вітчизняних газотурбінних двигунах для бойових літаків є оригінальним технічним рішенням для економічного використання кількості охолоджуючого повітря на різних режимах роботи двигуна і не має аналогів в світі.

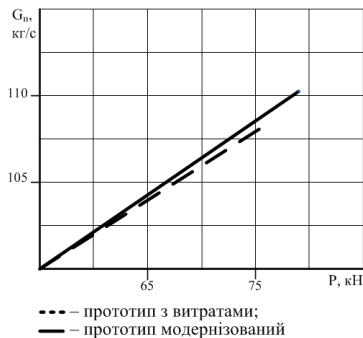


Рис. 3. Зміна тяги від кількості повітря на виході

Висновки

При створенні високотемпературних ГТД найбільш складною проблемою є забезпечення надійної роботи елементів, які піддаються впливу великим механічним і температурним напруженням. Зведення до можливого мінімуму, непродуктивних витоків газу і охолоджуючого повітря являє собою одну з найбільш важливих і найбільш значних по одержуваному ефекту завдань при проектуванні турбіни. Витік кожного відсотка витрати газу в радіальний зазор призводить до рівного за величиною зменшення ККД ступені турбіни.

Представлені в статті аналізи витоків повітря з двигуна і вплив їх на тягу, а також варіанти модернізації силової установки дозволять в майбутньому повністю чи частково мінімізувати втрати повітря і зменшити шкідливий вплив на тягу двигуна та збільшити його економічність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нічасв Ю. Н. Теорія авіаційних двигунів / Ю. Н. Нічасв. – М. : ВВИА ім. Н. Е. Жуковського, 1990. – 703 с.
2. Н.І.Старцев, В.Н.Матвеев Системи відбору повітря з компресору і транспортування до споживача / 2011 – 78 с.
3. Конструкція і проектування авіаційних газотурбінних двигунів / С. А. Вьюнов, Ю. І. Гусев, А. В. Карпов та ін.; під заг. ред. Д. В. Хроніна. – М. : Машинобудування, 1989. – 368 с.
4. Скубачевський Г. С. Авіаційні газотурбінні двигуни. Конструкція і розрахунок деталей / Г. С. Скубачевський. – 5-е вид., перераб. і доп. – М. : Машинобудування, 1981. – 550 с.
5. Іноземцев А. А. Основи конструювання авіаційних двигунів і енергетичних установок : підручник / А. А. Іноземцев, М. А. Нихамкін, В. Л. Сандрацький. – М. : Машинобудування, 2008. – Т.1. – 366 с.
6. Масыгін В.І Конструкція та міцність авіаційних двигунів: курс лекцій / В.І. Масыгін, В.В. Самулєєв, Н.М. Отрешко. – Х.:ХКПС. 2014. – 464 с
7. Пономарьов В.А. стаття «Регулювання подачі повітря до охолоджувальних елементів турбін ТРД бойових літаків»
8. Копелев С.З., Слітенко А.Ф. Конструкція і розрахунок систем охолодження ГТД/ Под ред. Слітенко А.Ф.- Х: Вид-во «Основа при Харьков.ун-ті», 1994 – 240с.
9. Горюнов А.І., Горюнов М.І., стаття «Моделювання розподіленого відбору і підводу охолоджуючого повітря ГТД» / Весник государственного аерокосмічного університету, №3(13), 2009
10. Гольберг Ф. Д. Математичні моделі авіаційних газотурбінних двигунів як об'єкт керування/. Гольберг Ф.Д., Батенін А.В: видання МАИ,1999 – 82 с.
11. Штода А. В. Конструкція авіаційних газотурбінних двигунів / А. В. Штода, В. А. Секістов, В. В. Кулешов. – К. : КВВАІУ, 1982. – 436 с.
12. Технологія експлуатації, діагностики і ремонту газотурбінних двигунів : учбов. посібник / Ю. С. Єлісеєв, В. В. Кримов, К. А. Малиновський, В. Г. Попов. – М. : Висш. шк., 2002. – 355 с.
13. Керівництво по технічній експлуатації двигуна АЛ-31ФП ОАО «НПО Сатурн» научно-технічний центр ім.А.Люлька
14. Керівництво по технічній експлуатації двигуна АЛ-21,ізд. №6859.

Received (Надійшла) 11.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.11.2021

Influence of air extraction on engine thrust

V. Masyagin, V. Ivanyuk, K. Konokh, A. Hryhorenko

Abstract. Traction is one of the most important factors in determining the speed of an aircraft, namely how fast the aircraft can rise to the desired height. The effective operation of the aircraft directly depends on the selected air from the atmosphere that enters the engine, in proportion to the decrease in the amount of air deteriorating traction characteristics of the aircraft. There are a number of systems and devices that ensure the operation of gas turbine engines (GTE) operating on air, which is extracted from the compressor, the energy of which is then not fully or partially used to create traction or power GTE. This article presents analyzes of air extraction from the engine and its impact on traction, as well as modernization of the power plant, which in the future will fully or partially minimize air loss and reduce the impact of losses on engine traction and increase its efficiency. Having considered the functions for which air is extracted, acquainted with the scientific literature and manuals for technical operation of the Su-27, it was possible to obtain an increase in thrust of 7% and a decrease in air leakage by 4%. When creating high-temperature gas turbine engines, the most difficult problem is to ensure the reliable operation of elements that are exposed to high mechanical and temperature stresses. Elimination, more precisely - minimization of unproductive leaks of gas and cooling air is one of the most important and most significant in terms of the effect of the tasks in the design of the turbine. Leakage of each percent of gas flow into the radial gap leads to an equal in magnitude reduction in the efficiency of the turbine stage. The analysis of air leaks from the engine and their impact on traction, as well as options for power plant upgrades will allow in the future to fully or partially minimize air loss and reduce the harmful impact on engine traction and increase its efficiency.

Keywords: air extraction, engine thrust, cooling, unproductive losses, efficiency.

Д. О. Федотов, О. П. Клімов, В. Д. Тимофєєв, В. А. Шматков, Н. В. Горохівська, О. Г. Бобров
Військовий інститут танкових військ НТУ “ХПІ”, Харків, Україна

ДИНАМІКА ЗБІЛЬШЕННЯ ОПОРУ ПОВІТРЯ У БОЙОВОМУ ВІДДІЛЕННІ ТАНКУ ПРИ ЙОГО ЗАТОПЛЕННІ

Анотація. Предметом вивчення в статті є динаміка збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні. Метою статті є визначення експериментальним шляхом функціональної залежності постійного часу перехідного процесу для динаміки збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні. **Завдання дослідження:** оскільки динаміка збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні зумовлена перехідним процесом витіснення повітря під час перехідного процесу заповнення об'єму учбово-діючого стенду (далі – УДС) бойової машини з урахуванням багатофункціональної залежності постійної часу та з урахуванням складної геометричної форми внутрішнього об'єму УДС та непередбачуваного розташування зон протікання, то для цього пропонується зворотний процес визначення функціональної залежності постійної часу через злив наперед заповненого водою УДС: визначити час T_1 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через зливну систему в підлозі бойового відділення; визначити час T_2 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через нещільності та не герметичність усіх стикувальних елементів та приладів. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання: теорія фізики, теорія будова бронетанкової техніки, використання практичних навичок. Отримані такі результати: визначено та надано опис функціональної залежності постійного часу перехідного процесу для динаміки збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні експериментальним шляхом, зворотний процес визначення функціональної залежності постійної часу через злив заповненого водою УДС: визначений час T_1 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через зливну систему в підлозі бойового відділення; визначений час T_2 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через нещільності та не герметичність усіх стикувальних елементів та приладів. Поставлені завдання дослідження досягнуті. **Висновки.** Опис динамічного збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні можна здійснити інтегральною характеристикою перехідного процесу з одним накопичувачем функціонально залежною постійного часу t , яку доцільно визначити експериментально за розрахунком.

Ключові слова: динаміка, опір повітря, бойове відділення танку, УДС, зворотний процес, перехідний процес.

Вступ

Постановка проблеми та завдання дослідження. При затопленні бронетанкової техніки або учбово-діючого стенду (далі УДС) динаміка збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при цьому зумовлена перехідним процесом витіснення повітря під час перехідного процесу заповнення об'єму УДС бойової машини.

З урахуванням багатофункціональної залежності постійної часу та складної геометричної форми внутрішнього об'єму УДС та непередбачуваного розташування зон протікання, пропонується зворотний процес визначення функціональної залежності постійної часу через злив наперед заповненого водою УДС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стосовно зазначених вище питань засвідчує, що теоретично дане питання поверхнево наведено у технічній документації до експлуатації даної бронетанкової техніки але щодо публікацій у виданнях з даної тематики таких даних не було.

Метою статті є визначення функціональної залежності постійного часу перехідного процесу для динаміки збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні експериментальним шляхом. **Завдання дослідження:** так як динаміка збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні зумовлена перехідним процесом витіснення повітря під час перехідного процесу заповнення об'єму учбово-діючого стенду

(далі – УДС) бойової машини з урахуванням багатофункціональної залежності постійної часу та складної геометричної форми внутрішнього об'єму УДС і непередбачуваного розташування зон протікання, то для цього пропонується зворотний процес визначення функціональної залежності постійної часу через злив наперед заповненого водою УДС. Це дозволяє:

- визначити час T_1 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через зливну систему в підлозі бойового відділення;

- визначити час T_2 спорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через нещільності та не герметичність усіх стикувальних елементів та приладів.

Виклад основного матеріалу.

1. Основні поняття. Внутрішній робочий об'єм V бойового відділення, включно башти танку, в яких знаходиться екіпаж та проводить дії з управлінням механізмами та системами бойової машини має складну конфігурацію і складається з об'ємів V_K капсули екіпажу та об'єму V_B башти.

$$V = V_K + V_B \quad (1)$$

Затоплення танку призводить до заповнення водою його внутрішніх об'ємів у деякій послідовності з різною швидкістю, тому визначення технологічного часу доступу води у бойове відділення є актуальним завданням, як під час набуття практичних навичок, так і у бойовій обстановці.

Оскільки аварійний режим відбувається, в основному, при подоланні водних перешкод, то зупинка двигуна під водою призведе до першочергового заповнення об'єму V_K при збільшеному тиску зовнішнього водного середовища.

Це зумовлює потрапляння у воду більшої частини екіпажу та неможливості екстреного покидання ним бойового відділення. [2].

У залежності від герметичних параметрів внутрішнього об'єму танку потрапляння води у робочий об'єм період затоплення, а тому час на прийняття рішення до виконання штатних заходів екіпажем, є різним та потребує від військовослужбовців відповідних свідомих та осмислених дій, які набуваються ретельним навчанням та тренуваннями. [1].

Оскільки вода є нестисливою рідиною, то стисненню підлягає повітря внутрішнього об'єму. Перепад тиску рідини із зовні за рахунок більшої щільності води створює умови витиснення повітря із внутрішнього об'єму капсули. При повній герметичності об'єкту створюється відомий "повітряний пазир", який компенсує тиск заповненої рідини. Процес затоплення робочого об'єму бойового відділення танку схематично зображено на рис. 1.

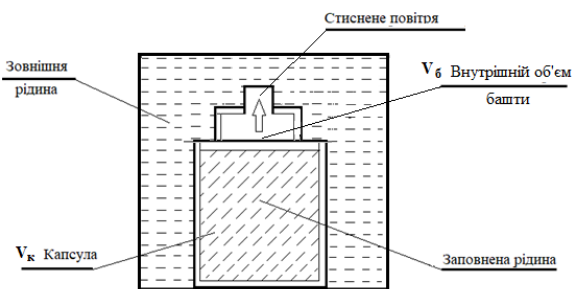


Рис. 1. Процес затоплення робочої зони

Процес заповнення водою об'єму бойового відсіку безпосередньо пов'язаний з взаємодією тиску води і стисненням повітря.

Тиск (p) – є фізичною величиною, яка чисельно дорівнює силі F , що діє на одиниці площі S поверхні тіла та спрямована за напрямом зовнішньої нормалі n до цієї поверхні (F_n).

$$p = F_n / S; F_n = p \cdot S, \quad (2)$$

Тиск – скалярна величина, отже не залежить від напрямку. Загальнішим поняттям, ніж поняття тиску є поняття напруження. У анізотропних середовищах деформація залежить від напрямку прикладеної сили, тому для опису дії сили в таких середовищах використовується інша величина: тензор механічних напружень. У цьому випадку поняття тиску найкраще характеризує пружні властивості газів і рідин. Як відомо, у системі СІ тиск вимірюється у Паскалях [3]

$$1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} \quad (3)$$

Іншими популярними одиницями вимірювання тиску є торр або міліметр ртутного стовпа й атмосфера або бар. Позасистемна одиниця тиску – п'єза. Гідромеханічний тиск для даної ділянки рідини або

поверхні, наміченої всередині рідини (наприклад, для перерізу потоку), задовольняє умову:

$$z + p / \rho g = \text{idem} \quad (4)$$

де *idem* – означає виконання умови для всіх точок об'єму чи поверхні, z – позначення будь-якої точки, що належить області, яку розглядають (або поверхні); $p/\rho g$ – п'єзометрична висота для цієї точки; p – тиск; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

Уздовж будь-якої прямої (проведеної всередині рідини), для точок якої справедлива названа залежність, гідромеханічний тиск розподіляється за лінійними законами, тобто

$$p = z\rho g + P_0 \quad (5)$$

де P_0 – тиск над рівнем рідини.

При цьому слід враховувати дію закону Паскаля: тиск на рідину в стані теплової рівноваги передається в усіх напрямках однаково, що складає основне рівняння гідростатики.

За другим законом Ньютона в інерціальних системах відліку похідна від імпульсу p_n матеріальної точки по часу дорівнює силі, яка діє на нього.

$$F = dp / dt; dp = F dt; p = \int F dt = \int F_n dt \quad (6)$$

Таким чином, тиск в конкретній точці матеріального об'єкта пропорційний площі та нормальному накопичуваному імпульсу в часі.

Заповнення об'єму водою є фізичним процесом витиснення повітря, як субстанції з меншою щільністю під дією гідростатичного зовнішнього тиску [4]. Цей фізичний процес може бути описаним перехідним процесом з одним накопичувачем для внутрішнього об'єму з нульовими початковими умовами:

$$V(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (7)$$

2. Приведення точних експериментів. Вочевидь, у нашому випадку постійна часу τ не є величиною постійною. Особливість її полягає у тому, що у процесі затоплення об'єму через відхилення поточного об'єму через зміну конфігурації внутрішньої зони від існуючих геометричних об'ємних характеристик предмету (циліндр, шар, інше), від ступеню герметизації учбово-діючого стенду, через яку в процесі заповнення бойової зони надходила вода з урахуванням закону Паскаля частина нещільностей змінювала свою ефективність (у процесі затоплення). За цих причин постійна часу τ має функціональну залежність від неоднорідності ($K_{об}$) об'єму, так і від коефіцієнту герметичності $K_I = 0 \dots 1$.

$$\tau = f(K_{об} \cdot K_I) \quad (8)$$

Якщо коефіцієнт неоднорідності об'єму для екіпажу можна визначити експериментально за правилом 3τ (перехідний процес в системах з одним накопичувачем вважається закінченим через 3τ – з похибкою 3% (4τ з похибкою 1%), то вплив коефіцієнту герметичності у кожному випадку буде різним. Але за умови, коли площа нещільностей буде суттєво меншою площі отвору затоплення, можна вважати $K_I=1$.

За вимогами настанов з підводного водіння бронетехніки час затоплення об'єктів не має бути меншим 5 хвилин, звідки постійна часу диференційного процесу затоплення складає $\tau=5/4=1,25$ хв., або 75 секунд. Тому, динаміка збільшення опору повітря [2] у бойовому відділенні танку при його затопленні за виразом (7) зумовлена перехідним процесом витіснення повітря під час перехідного процесу заповнення об'єму учбово-діючого стенду бойової машини із урахуванням багатофункціональної залежності постійної часу, визначеною виразом (8).

З урахуванням складної геометричної форми внутрішнього об'єму УДС та непередбачуваного розташування зон протікання, визначити функціональну залежність постійної часу перехідного процесу для динаміки збільшення опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні можна експериментальним шляхом.

Для цього пропонується зворотний процес визначення функціональної залежності постійної часу через злив наперед заповненого водою УДС, а саме:

– визначити час T_1 опорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через зливну систему в підлозі бойового відділення;

– визначити час T_2 опорожнення повністю заповненого внутрішнього об'єму УДС через нещільності та негерметичність усіх стикувальних елементів та приладів [5].

Вочевидь, що у цьому випадку, коефіцієнт герметичності може бути визначеним наступним відношенням:

$$K_r = T_1/T_2 \quad (9)$$

У цьому випадку постійну часу функціональної залежності $K_{об}$, K_r можна визначити з (8) після виключення коефіцієнту $K_{об}$ об'єму, як T_1-T_2 з урахуванням інтегральної залежності (7) для перехідного процесу та залежності часу, який характеризує перехідний процес:

$$\tau = (T_1 - T_2)/4, \quad (10)$$

Висновки

Опис динамічної зміни опору повітря у бойовому відділенні танку при його затопленні можна здійснити інтегральною характеристикою (7) перехідного процесу з одним накопичувачем за допомогою функціонально залежної постійної часу τ , яку доцільно визначити експериментально розрахунком за виразом (10).

Для цього достатньо попередньо визначити експериментально встановлені інтервали часу зливу води з внутрішнього об'єму танка через аварійний скид води (T_1) та окремо протікання води через негерметичність бойового відділення (T_2).

Received (Надійшла) 25.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент на корисну модель. Навчально-тренувальний комплекс легкового долазної підготовки танкових екіпажів / №142828 від 26.06.2020 року.
2. Методика проведення практичних занять з легкового долазної підготовки з урахуванням сучасних вимог / 30.10.2020 р.
3. Константінов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу: підручник / К. – Вища школа, 2002–227с.
4. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: підручник. – Київ: Центр навч. літер., 2006. – 616 с.
5. Колчунов В. І. Теоретична та прикладна гідромеханіка: навч. посібник. – К.: НАУ, 2004. – 336с.

Dynamika increase resistance treated at the battle viddilenni tank at his flooded

Fedotov Dmytro, Alexej Klimov, Timofeev Vadym, Shmatkov Vitaliy, Gorokhivska Natalia, Bobrov Oleksandr

Abstract. The subject of research in the article is the dynamics of the growth of air resistance in the fighting compartment of a tank when it is flooded. The purpose of the article is to experimentally determine the functional dependence of the constant time of the transient process for the dynamics of increasing resistance in the fighting compartment of a tank when it is flooded. **Research objective:** since the dynamics of an increase in air resistance in the fighting compartment of a tank during its flooding is due to the transient process of air displacement during the transient process of filling the volume of the training stand (hereinafter UDS) of the combat vehicle, taking into account the multifunctional dependence of constant time and taking into account the complex geometric shape of the internal volume of the UDS and the unpredictable location of the flow zones, then the reverse process of determining the functional dependence of the constant time through the drain of the pre-filled UDS with water is proposed: to determine the time T_1 of emptying the completely filled internal volume of the UDS through the drain system in the floor of the fighting compartment; to determine the time T_2 of emptying the completely filled internal volume of the UDS due to leaks and the lack of tightness of all docking elements and devices. **The methodological basis of the study was general scientific and special methods of scientific knowledge:** the theory of physics, the theory of the structure of armored vehicles, the use of practical skills. **The following results were obtained:** the functional dependence of the constant time of the transient process for the dynamics of the increase in air resistance in the fighting compartment of the tank during its flooding experimentally was determined and given, the reverse process of determining the functional dependence of the constant time through the drain of the UDS filled with water: a certain time T_1 of emptying the completely filled internal volume of the UDS through the drain system in the floor of the fighting compartment; a certain time T_2 of emptying the completely filled internal volume of the UDS due to leaks and the lack of tightness of all docking elements and devices. The set objectives of the study have been achieved. **Conclusions.** The description of the dynamic growth of air resistance in the fighting compartment of the tank during its flooding can be performed as an integral feature of the transient process with one storage device functionally dependent on constant time, which is expedient to find experimentally by calculation.

Keywords: dynamics, air resistance, fighting compartment of a tank, UDS, reverse process, transient process.

Н. В. Єрмілова, С. Г. Кислиця, Р. В. Захарченко

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

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНТАКТНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ РУДНИХ ШАХТ

Анотація. У статті розглядаються підходи до створення систем керування електроприводами тягового транспорту рудних шахт. Проведений аналіз роботи в різних режимах та порівняння характеристик чотирьох найбільш популярних типів електроприводів, що застосовуються у тягових електромеханічних системах, виявлені їх переваги та недоліки. Для підвищення ефективності тягових установок в якості приводних двигунів запропоновано використовувати синхронні двигуни з постійними магнітами, що нівелюють недоліки двигунів постійного та змінного струму, які здебільшого використовуються в електроприводах цих електровозів. З метою вдосконалення методів та схем автоматичного керування тяговими приводами розроблені математичні моделі динаміки руху тягової установки з синхронними двигунами з постійними магнітами (СДПМ), на базі яких створені комп'ютерні імітаційні моделі систем автоматичного керування (САК) для різних варіантів конструктивного виконання електродвигунів. За допомогою цих моделей проведений аналіз режимів роботи запропонованих САК тягових установок з СДПМ як без пускових обмоток, так і з ними. Порівнювалася робота САК для моделі тягової установки з лінійними регуляторами струму та швидкості, а також для моделі САК з оптимальними релейними сигналами керування, заснованими на використанні властивостей функцій перемикання оптимальних керуючих діянь. Аналіз ефекту від застосування запропонованих оптимальних релейних сигналів керування тяговою установкою показав, що при застосуванні САК з оптимальними релейними регуляторами тривалість перехідного процесу у випадку двигунів без пускових обмоток виявилась на 14% меншою в порівнянні з САК із лінійними регуляторами, а у випадку двигунів із пусковими обмотками - на 13.5% меншою, що доводить перевагу використання систем керування з оптимальними релейними регуляторами. Крім того виявлено, що такі системи автоматичного керування електроприводами тягових установок володіють астатизмом відносно моменту навантаження.

Ключові слова: система керування, електровози, синхронні двигуни, комп'ютерна модель.

Вступ

Постановка проблеми. В наш час одним з пріоритетних завдань промисловості України є підвищення її енергоефективності. Однією з найбільш енергоємних являється рудовидобувна галузь. До 30% загальних витрат в технологічному процесі видобування руди припадає на транспортування сировини. Контактні або контактні - акумуляторні електровози є основним тяговим транспортом на рудних шахтах. Модернізація шахтних транспортних ліній дозволяє говорити про актуальність і затребуваність цього напрямку [1]. Вона проходить у ключі покращення показників продуктивності шляхом зміни конструкції вагонеток, впровадженням сучасних видів контактних-акумуляторних електровозів, монорейкових транспортних систем. Все це обумовлює пошук шляхів для підвищення економічності роботи тягових установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Удосконалення систем автоматичного керування (САК) є одним зі шляхів покращення енергетичних показників контактних електровозів. Застосування досконаліших САК, спрямованих на покращення динамічних характеристик електроприводу, призводить до зниження рівня споживання електричної енергії. Цього можна досягнути шляхом зниження величини максимальних струмів в статорних обмотках двигунів за рахунок скорочення тривалості перехідних процесів та іншими відомими методами. Питання автоматизації роботи різноманітних електроприво-

дів змінного струму, у тому числі й електроприводів на основі синхронних двигунів з постійними магнітами (СДПМ), розглядалися в роботах В.М. Дембіцького, І.В. Савеленка, С.М. Пересади, А.С. Поздеева, К.А. Пупкова, О.Н. Синчука, Ю.Г. Осадчука, О.О.Удовенка та ін. [1-8].

В роботах цих авторів розглядається створення систем керування електроприводами на базі СДПМ малої, середньої та великої потужності. Також відомим є підхід до створення систем керування тяговими електроприводами, що заснований на ідеях Л.С. Понтрягіна, які покладені в основу сучасної теорії оптимального керування.

З аналізу робіт випливає, що питання вибору та удосконалення систем автоматичного керування тягових установок електровозів з метою підвищення їх енергетичної ефективності ще недостатньо вивчене і є досить актуальним.

Мета роботи – порівняння ефективності систем автоматичного керування електроприводів тягових установок шахтних електровозів з різними типами регуляторів для найбільш поширених варіантів конструктивного виконання СДПМ.

Основна частина

При інтенсивному впровадженні електромеханічних тягових систем виникає задача необхідності відпрацювання чітких критеріїв вибору електричних двигунів [2]. Аналіз роботи в різних режимах та порівняння характеристик чотирьох найбільш популярних типів електроприводів, що застосовуються у

тягових електромеханічних системах та гібридних транспортних засобах, виявив наступні їх переваги та недоліки:

– асинхронний двигун має достатньо великий ККД (близько 96%) на високій кутовій швидкості, проте одночасно він характеризується найширшим діапазоном низької ефективності на малій кутовій швидкості через втрати в міді;

– вентильний реактивний двигун має зосереджені обмотки з низьким опором, але, як правило, йому необхідно більш високе значення струму для створення аналогічного за величиною моменту;

– двигун постійного струму послідовного збудження, який дуже часто застосовується в електроприводах тягового транспорту, має м'яку механічну характеристику, що ускладнює завдання підтримки стабільності швидкості електровоза в статичних режимах роботи;

– синхронний двигун з постійними магнітами має ККД вищий за 97%. Він має зосереджену обмотку з низьким опором, проте вимагає більшої кількості матеріалу постійних магнітів для задоволення вимог відносно моменту. Синхронний двигун з 12 пазами та 8 полюсами має трохи вищий ККД при низькій кутовій швидкості, але на швидкості, вищій за 5000 об/хв., ця перевага втрачається, оскільки вихрові струми багатократно зростають (до 50 разів);

– асинхронний двигун та вентильний реактивний двигун мають нижчу щільність потужності, тобто 55 кВт/52 кг (для асинхронного) та 55 кВт/45 кг (для вентильного) у порівнянні з показниками 55 кВт/32 кг – для синхронного двигуна з постійними магнітами. На показники вібрації та шуму значно впливає геометрія статора, комбінація його пазів та полюсів, а також спосіб керування. Причому вібрація виявляється тим нижчою, чим більшим є час дискретності вхідних впливів, за однієї й тієї ж топології вентильний реактивний двигун має набагато сильнішу вібрацію, ніж синхронний двигун з постійними магнітами, що працює в режимі переривчастого струму.

Враховуючі вищеописане, для підвищення ефективності тягових установок пропонується використовувати синхронні двигуни з постійними магнітами, що нівелюють недоліки двигунів постійного та інших типів змінного струму, які здебільшого використовуються в приводах електровозів.

Синхронні двигуни з постійними магнітами (іноді їх називають магнітоелектричними машинами) не мають обмоток збудження на роторі. Обертання здійснюється за рахунок взаємодії магнітних полів обмоток статора та постійних магнітів, розміщених на роторі електричної машини. Такі машини поєднують простоту конструкції двигунів змінного струму та можливість керування ДПС. Вони характеризуються високим ККД в широкому діапазоні частот обертання ротора, у тому числі, і на нижніх швидкостях; простотою конструкції та відсутністю втрат на збудження; невисокою інерцією при доволі значному моменті; відносно невеликими розмірами (наприклад, асинхронна машина аналогіч-

ної потужності та класу енергоефективності в 2 рази більша за синхронний двигун); незмінним моментом на валу незалежно від швидкості обертання ротора.

СДПМ знайшли широке розповсюдження в обладнанні з високими вимогами до стабільності частоти обертання. До недоліків синхронних машин належать необхідність застосування додаткового обладнання для пуску та входу в синхронний режим, можливість розмагнічування ротора при високих температурах, а також необхідність встановлення датчиків зворотного зв'язку. Поява частотних перетворювачів та сучасних матеріалів для магнітів дозволяє вирішувати ці проблеми.

Конструктивно СДПМ відрізняється встановленням магнітів на роторі: вони можуть розміщуватися як на поверхні (SPMSM), так і всередині (IPMSM) вузла, що обертається. Ротори із вбудованими магнітами застосовуються в двигунах, що працюють при значному навантаженні на валу та високих швидкостях, але вартість таких роторів суттєво вища. Також випускаються СДПМ як без пускових обмоток, так і з ними.

Для покращення енергетичних характеристик тягових установок на основі синхронних двигунів з постійними магнітами необхідно провести вдосконалення методів та схем автоматичного керування цими приводами. Були розроблені математичні моделі динаміки руху тягової установки з СДПМ для найбільш поширених варіантів конструктивного виконання, які дозволили синтезувати сигнали оптимального керування тяговою установкою, що можуть в подальшому бути використані при побудові схем САК рухом тягових установок [9]. На базі математичних моделей тягових установок на основі СДПМ створені комп'ютерні імітаційні моделі САК, за допомогою яких можна проводити аналіз режимів роботи запропонованих САК тягових установок з СДПМ як без пускових обмоток, так і з ними [10].

На рис. 1 приведена комп'ютерна модель САК рухом тягової установки з СДПМ без пускових обмоток, яка складається з таких основних блоків:

- «SDPM» – модель СДПМ без пускових обмоток;
- «Reg id» – модель регулятора струму в координатах i_d ;
- «Reg iq» – модель регулятора струму в координатах i_q ;
- «Reg w» – модель регулятора швидкості обертання ротора СДПМ;
- «w_zad» – блок завдання швидкості обертання ротора СДПМ;
- «Mech» – модель динаміки руху електровоза;
- «M_zad» – блок завдання механічного моменту навантаження.

Також була розроблена комп'ютерна модель САК рухом тягової установки на базі СДПМ із пусковими обмотками (рис. 2).

Дана модель складається з наступних блоків:

- «SDPM» – модель СДПМ з пусковими обмотками;
- «Reg id» – модель регулятора струму в координатах i_d ;

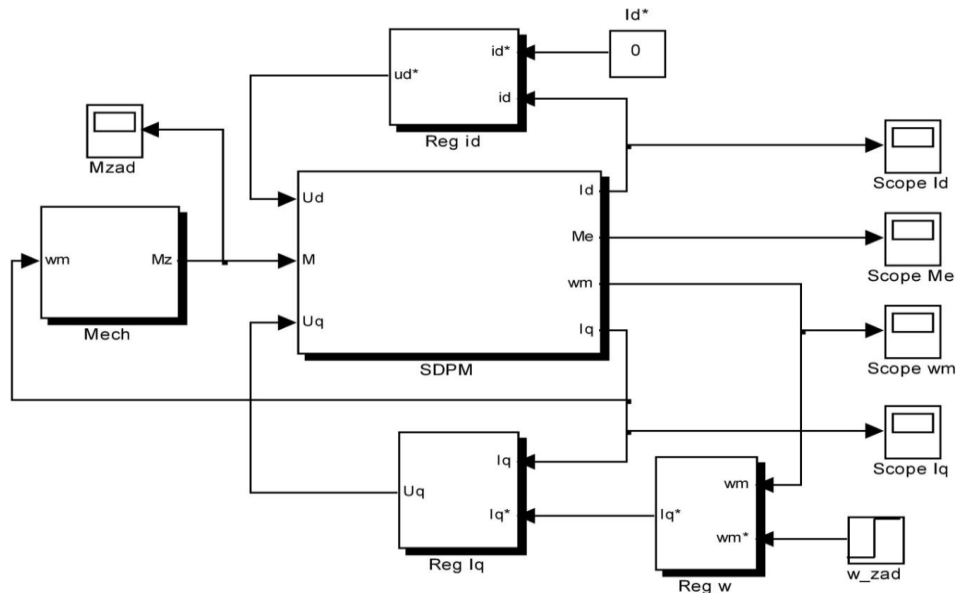


Рис. 1. Комп'ютерна модель САК рухом тягової установки з СДПМ без пускових обмоток

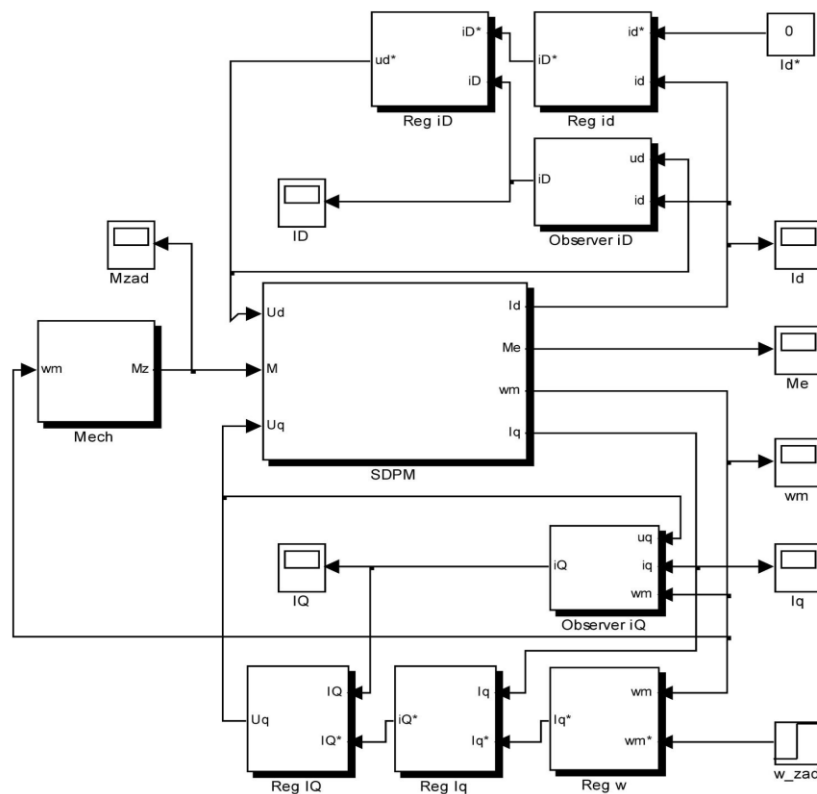


Рис. 2. Комп'ютерна модель САК рухом тягової установки з СДПМ із пусковими обмотками

- «Reg iq» – модель регулятора струму в координатах i_q ;
- «Reg w» - модель регулятора швидкості обертання ротора СДПМ;
- «w_zad» – блок завдання швидкості обертання ротора СДПМ;
- «Mech» – модель динаміки руху електровоза;
- «M_zad» – блок завдання механічного моменту навантаження;
- «Reg IQ» – комп'ютерна модель спостерігача Люенбергера для змінної стану i_Q ;

- «Red ID» – комп'ютерна модель спостерігача Люенбергера для змінної стану i_D .

На базі комп'ютерних моделей проведено порівняння характеристик САК швидкістю руху тягових установок для двох випадків: для моделі САК тягової установки з лінійними регуляторами струму та швидкості; для моделі САК тягової установки з оптимальними релейними сигналами керування, заснованими на використанні властивостей функцій перемикачів оптимальних керуючих діянь [4].

Ці комп'ютерні моделі дозволяють розраховувати та запам'ятовувати значення параметрів тягової

установки, що дало можливість провести їх подальшу обробку та представити результати у вигляді графіків.

Результати комп'ютерного моделювання роботи САК тягової установки з СДПМ без пускових обмоток наведені на рис. 3 – 5.

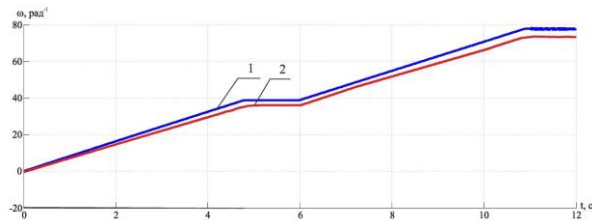


Рис. 3. Порівняльна характеристика зміни швидкості обертання ротора СДПМ у часі: 1 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами; 2 – модель САК з лінійними регуляторами

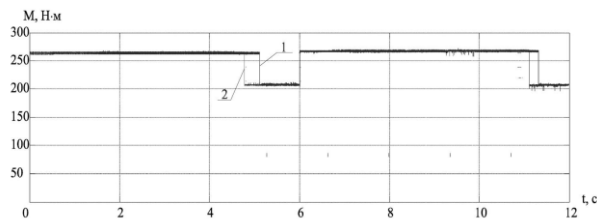


Рис. 4. Порівняльна характеристика зміни моменту у часі: 1 – модель САК з лінійними регуляторами; 2 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами

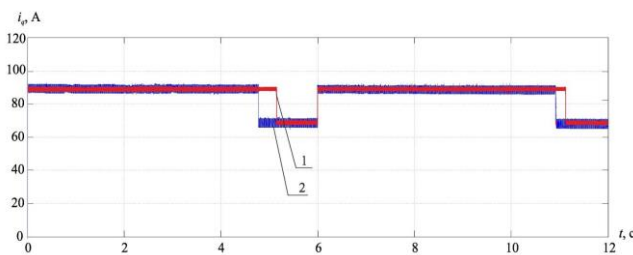


Рис. 5. Порівняльна характеристика зміни струму i_r : 1 – модель САК з лінійними регуляторами; 2 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами

З рис. 3 можна побачити, що тривалість перехідного процесу зміни швидкості у випадку моделі САК з оптимальними релейними регуляторами виявилася на 14% меншою, ніж для моделі з лінійними регуляторами. До того ж ця система, на відміну від базової, володіє астатизмом відносно моменту навантаження. Це підтверджують і характеристики на рис. 4, 5. Також були проведені аналогічні дослідження роботи САК електроприводом на основі СДПМ з пусковими обмотками. Порівняльні характеристики наведені на рисунках 6 – 8. З рис. 6 можна побачити, що тривалість перехідного процесу зміни швидкості у випадку моделі САК з оптимальними релейними регуляторами виявилася на 13,5% меншою, ніж для моделі з лінійними регуляторами. Як і у першому випадку (СДПМ без пускових обмоток) ця система, на відміну від базової, володіє астатизмом відносно моменту навантаження. Аналогічні висновки можна зробити по рис. 7, 8.

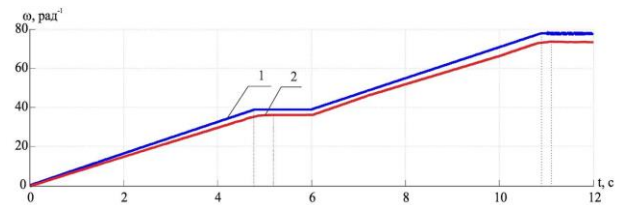


Рис. 6. Порівняльна характеристика зміни швидкості обертання ротора тягової установки: 1 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами; 2 – модель САК з лінійними регуляторами

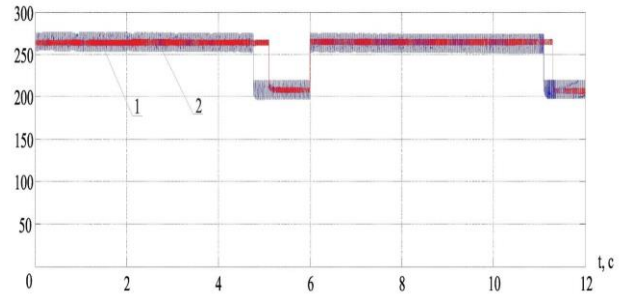


Рис. 7. Порівняльна характеристика зміни моменту для моделі САК: 1 – модель САК з лінійними регуляторами; 2 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами.

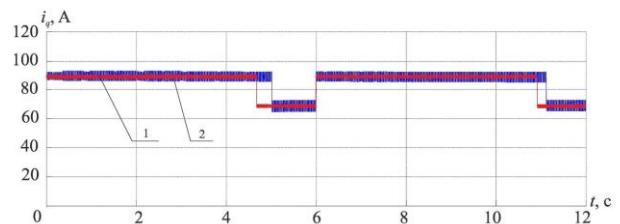


Рис. 8. Порівняльна характеристика зміни струму i_r : 1 – модель САК з оптимальними релейними регуляторами; 2 – модель САК з лінійними регуляторами.

Для двох досліджуваних випадків проведено статистичну обробку результатів моделювання, яка показала, що статична похибка швидкості обертання ротору (ω) відносно заданого сигналу 39 rad^{-1} , в моделі САК з лінійними регуляторами складає 3.6%, а САК з оптимальними релейними регуляторами – 0.6%.

Крім того, пульсації струмів i_r та моменту M в при використанні базової моделі САК більше ніж в САК тягової установки САК з оптимальними релейними регуляторами на 49.9%, та 12.92%, відповідно.

Це свідчить про перевагу запропонованої САК з оптимальними релейними регуляторами швидкістю руху тягової установки.

Висновки

1. Проведений аналіз джерел показує, що питання удосконалення систем автоматичного керування тягових установок електровозів з метою підвищення їх енергетичної ефективності ще недостатньо вивчене і є досить актуальним.

2. Проаналізовано роботу в різних режимах та порівняння характеристик найбільш популярних типів електроприводів для застосування у тягових електромеханічних системах та гібридних транспортних засобах. В результаті зроблено висновок, що для підвищення ефективності тягових установок найбільш доцільно використовувати синхронні дви-

гуни з постійними магнітами, що нівелюють недоліки двигунів постійного та змінного струму, які здебільшого використовуються в цих електроприводах.

3. Розроблені комп'ютерні імітаційні моделі дали можливість проаналізувати відмінності у режимах роботи запропонованих САК тягових установок з СДПМ як без пускових обмоток, так і з пусковими обмотками.

4. Аналіз ефекту від застосування запропонованих оптимальних релейних сигналів керування

тяговою установкою показав, що при застосуванні САК з оптимальними релейними регуляторами тривалість перехідного процесу у випадку двигунів без пускових обмоток виявилась на 14% меншою в порівнянні з САК із лінійними регуляторами, а у випадку двигунів із пусковими обмотками - на 13.5% меншою. Крім того виявлено, що САК з оптимальними релейними регуляторами тягових установок володіють астатизмом відносно моменту навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Синчук О.Н. Шахтний електровозний транспорт. Теория, конструкции, электрооборудование: учебник / О.Н. Синчук, Э.С. Гузов, В.Л. Дебелий, Л.Л. Дебелий; под ред. доктора технических наук, профессора О.Н. Синчука. – Кривой Рог - Донецк: ЧП Щербатых А.В., 2015. – 428 с.
2. Осадчук Ю.Г. Порівняльний аналіз асинхронних, синхронних машин з постійними магнітами та вентильних реактивних двигунів для гібридних транспортних засобів / Ю.Г. Осадчук, І.А. Козакевич, Р.А. Ільченко // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий ріг: Криворізький національний університет, 2016. – Вип. 42. – С. 94-99.
3. Поздеев А.С. Современные типы синхронных двигателей с постоянными магнитами на роторе и способы управления ими / А.С. Поздеев, В.М. Казакбаев, В.А. Прахт, В.А. Дмитриевский // Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2015. – С. 188-192.
4. Савеленко І.В. Автоматизація процесу керування тяговими установками з синхронними двигунами на постійних магнітах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування»/ І.В. Савеленко. – Кіровоград, 2016. – 22 с.
5. Тімков О.М. Поява гібридних силових установок на транспортних засобах / О.М. Тімков, О.В. Григорашенко // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2014. – № 1. – С. 42-47.
6. Дембіцький В.М. Дослідження приводу гальмівної системи транспортного засобу з гібридною силовою установкою та рекуперацією енергії / В.М. Дембіцький // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Автомобіле- та тракторобудування. – 2013. – № 29. – С. 28-33.
7. Krøvel Ø. Design of Large Permanent Magnetized Synchronous Electric Machines/ Øystein Krøvel //Ph.D thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, P. 6-10, 14-15. Feb 2011.
8. Lutsenko, I. Optimal control of systems engineering. Development of a general structure of the technological conversion subsystem (part 2) / I. Lutsenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 1, Issue 2 (73). – P. 43–50.
9. Байков, А.И. Математическое моделирование электропривода на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами / А.И. Байков, М.В. Андрюхин, И.В. Бобылев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". – Нижний Новгород: ФНПЦ "ННИИРТ", 2014. – Вып. 4. – С. 33-49.
10. Мичурин, Р.А. Моделирование работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в среде Simulink / Р.А. Мичурин // Электронные информационные системы. – М.: АО "НТЦ ЭЛИНС", 2017. – Вып. 3. – С. 23-32.

Received (Надійшла) 01.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.11.2021

Research of automatic control systems for electric drive of contact electric locomotive of ore mines

N. Yermilova, S. Kyslytsia, R. Zakharchenko

Abstract. The article considers approaches to the creation of control systems for electric drives of traction transport of ore mines. The analysis of work in different modes and comparison of characteristics for most popular types of electric drives applied in traction electromechanical systems is carried out, their advantages and lacks are revealed. To increase the efficiency of traction units as drive motors, it is proposed to use synchronous motors with permanent magnets, which eliminate the shortcomings of DC and AC motors, which are mostly used in these electric locomotives. In order to improve the methods and schemes of automatic control of traction drives, mathematical models of dynamics of traction unit with synchronous motors with permanent magnets (SMPM) were developed, on the basis of which computer simulation models of automatic control systems (ACS). Using these models, the analysis of the modes of operation of the proposed ACS traction units with SMPM both without starting windings and with them. The operation of ACS for the traction unit model with linear current and speed regulators was compared, as well as for the ACS model with optimal relay control signals based on the use of the properties of switching functions of optimal control actions. Analysis of the effect of the proposed optimal relay control signals of the traction unit showed that when using ACS with optimal relay regulators, the duration of the transient process in the case of motors without starting windings was 14% shorter compared to ACS with linear regulators, and in the case of motors with starting motors. - by 13.5% less, which proves the advantage of using control systems with optimal relay regulators. In addition, it was found that such systems of automatic control of electric drives of traction units have astatism in relation to the moment of loading.

Keywords: control system, electric locomotives, synchronous motor, computer model.

Є. І. Калінін, О. В. Коломійцев, А. О. Рибальченко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ВЗАЄМНА КОРЕЛЯЦІЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ КООРДИНАТ БАГАТОВИМІРНОЇ ЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. Предметом досліджень статті є своєрідну поведінку взаємних кореляційних функцій узагальнених координат – наявність розриву першого роду при переході аргументу від його позитивних значення до негативних. Метою є оцінка можливості формування розриву парних та непарних складових кореляційної функції та обґрунтування даного явища. Застосовувані методи: співставлення двох функцій дійсних змінних на основі перетворення Фур'є, статистичні методи аналізу даних, теорія випадкових функцій, кореляційний аналіз. Отримані результати: побудова принципів отримання парних та непарних складових кореляційної функції багатовимірної лінійної системи з аналізом їх безперервності в узагальненому сенсі; запропоноване тлумачення подібних виразів як границі послідовності безперервних функцій, що забезпечує їх безперервність в узагальненому сенсі та усуває виниклу суперечливість в даному випадку. Практична значущість роботи полягає у побудові моделі взаємної кореляції узагальнених координат лінійної системи з урахуванням особливостей поведінки кореляційних функцій.

Ключові слова: кореляційний аналіз; багатовимірною лінійною системою; парні та непарні складові; безперервність, випадкові величини.

Вступ

В теорії аналізу багатовимірних випадкових величин завдання кореляційного аналізу є важливими при побудові і реалізації багатьох систем контролю, моніторингу та діагностики. В процесі вирішення цих завдань визначення наявності та характеру статистичного взаємозв'язку досліджуваних випадкових величин є пріоритетним напрямком.

На підставі результатів кореляційного аналізу робляться висновки про наявність і характер функціональної залежності випадкових величин, перевагу використовуваних методів досліджень і пропонується моделей для опису випадкових багатовимірних процесів.

Застосування класичного математичного апарату кореляційного аналізу широко використовується в припущенні про приналежність випадкового процесу, що спостерігається, багатовимірному нормальному закону розподілу.

На практиці такі передумови кореляційного аналізу виконуються далеко не завжди і, швидше за все, є зручною математичною ідеалізацією досліджуваних процесів.

Завдання оцінювання параметрів сигналів, що приймаються на фоні перешкод, є важливими при реалізації багатьох технічних систем, що мають відношення до статистичної обробки даних. Для їх розв'язку успішно використовуються добре відомі статистичні методи, такі як метод максимальної правдоподібності, метод моментів і ін. [1-3].

Використання даних методів не накладає принципів обмежень на вид розподілів досліджуваних випадкових процесів, однак на практиці широкого поширення набули гаусові моделі досліджуваних випадкових величин.

Таке припущення не завжди адекватно відображає реальні випадкові процеси, які є відмінними від гаусових [4-6], що в цілому призводить до зниження ефективності оцінювання параметрів досліджуваних випадкових процесів.

Окрім того, аналіз розв'язання кореляційних диференціальних рівнянь для багатовимірної лінійної системи виявив своєрідну поведінку взаємних кореляційних функцій узагальнених координат – наявність розриву першого роду при переході аргументу від його позитивних значення до негативних.

Явна суперечність цього явища існуючій думці про безперервний характер зміни кореляційних функцій спонукає провести більш ретельне дослідження.

Мета роботи – оцінка можливості формування розриву парних та непарних складових кореляційної функції та обґрунтування даного явища.

Завдання дослідження полягають у побудові принципів отримання парних та непарних складових кореляційної функції багатовимірної лінійної системи з аналізом їх безперервності в узагальненому сенсі.

Розв'язок кореляційних диференціальних рівнянь для багатовимірної лінійної системи

Виходимо з того, що матриця спектральних щільностей узагальнених координат лінійної системи визначається залежністю виду:

$$S_{xx}(\omega) = \Phi(i\omega)S_{hh}(\omega)\Phi^*(i\omega), \quad (1)$$

де $S_{hh}(\omega)$ – матриця спектральних щільностей вектору збудовуючих впливів; $\Phi(i\omega)$ – матриця частотних характеристик системи, а «*» позначає сполучення.

Окремі елементи матриці $S_{xx}(\omega)$ як наслідок структури наведеного перетворення (1) виявляються двох видів:

а) діагональними, які можуть бути приведені до форми виду:

$$S_{jj}^{xx}(\omega) = \left| \frac{P_{\mu}(i\omega)}{P_{\nu}(i\omega)} \right|^2, \quad j = \overline{1, n}; \quad (2)$$

б) іншими:

$$S_{jl}^{xx}(\omega) = \frac{P_\rho(i\omega)P_\sigma(i\omega)}{|P_\nu(i\omega)|^2}, \quad j, l = \overline{1, n}; \quad j \neq l, \quad (3)$$

де $P_\nu(i\omega)$ – поліном ступеня ν відносно $i\omega$.

Оскільки чисельником наведеного виразу (2) є поліном, що містить лише парні ступені, то зворотне перетворення Фур'є, що дає відповідну кореляційну функцію, буде складатися тільки з парних функцій.

Так, якщо полюси знаменника – дійсні числа, то застосування теорії лишків до (2) призводить (при відсутності кратних полюсів) до залежності виду:

$$K_{jj}^{xx}(\tau) = \sum_{s=1}^n C_s e^{\lambda_s |\tau|}, \quad (4)$$

де C_s – дійсний коефіцієнт.

Аналогічно парі комплексно-спряжених полюсів

$$\lambda_r = -\alpha_r \pm i\beta_r \quad (5)$$

відповідають складові кореляційної функції

$$K_{jj}^{xx}(\tau) = e^{-\alpha_s |\tau|} (A_s \cos \beta_s \tau + B_s \sin \beta_s |\tau|), \quad (6)$$

де A_r і B_r – числові коефіцієнти.

Відзначимо, що, для надання другому доданку (6) властивостей парної функції, в аргумент останньої доводиться вводити знак модуля.

Переходячи до аналізу виразу (3), представимо добуток, що входить в його чисельник, у вигляді суми двох поліномів

$$P'_{jl}(i\omega) \text{ і } P''_{jl}(i\omega),$$

в кожен з яких входять лише парні або непарні ступеня відповідно:

$$P_\rho(i\omega)P_\sigma(i\omega) = P'_{jl}(i\omega) + P''_{jl}(i\omega). \quad (7)$$

Це дозволяє, використовуючи лінійність перетворення Фур'є, перед проведенням зворотного перетворення представити (3) у формі:

$$S_{jl}^{xx}(\omega) = \frac{|P'_1(i\omega)|^2}{|P_\nu(i\omega)|^2} + \frac{P''_{jl}(i\omega)}{|P_\nu(i\omega)|^2}, \quad (8)$$

де $|P'_1(i\omega)|^2 = P'_{jl}(i\omega)$.

Взаємна кореляційна функція, що отримана в результаті зворотного перетворення, буде складатися з двох частин:

$$K_{jl}^{xx}(\tau) = K'_{jl}(\tau) + K''_{jl}(\tau), \quad (9)$$

причому першу з них складуть парні функції того ж типу, що (4) або (6) в залежності від виду полюсів знаменника.

Друга ж частина – $K''_{jl}(\tau)$ – описується непарними функціями, уявлення про вигляд яких може бути отримано на основі наступних міркувань.

Використовуючи непарність ступенів окремих членів поліному $P''_{jl}(i\omega)$, підінтегральний вираз в

$K''_{jl}(\tau)$ представимо у вигляді добутку такого вигляду:

$$K''_{jl}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} i\omega \frac{P_2(i\omega)}{|P_\nu(i\omega)|^2} e^{i\omega\tau} d\omega, \quad (10)$$

в якому $P_2(i\omega)$ – поліном, що містить лише парні ступені.

Але добутку частотного параметра $i\omega$ на зображення функції в просторі оригіналів відповідає похідна за аргументом τ від оригіналу цієї функції:

$$K''_{jl}(\tau) = \frac{d}{d\tau} \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{P_2(i\omega)}{|P_\nu(i\omega)|^2} e^{i\omega\tau} d\omega \right]. \quad (11)$$

Тут враховано, що значення кореляційної функції на нескінченності тотожно дорівнюють нулю.

Оскільки підінтегральний вираз в (11) не відрізняється від (2), то, виконуючи перетворення, знову приходимо до доданків виду (4) або (6). Але похідна від цих функцій і, отже, самі функції повинні бути непарними.

Диференціювання не змінює виду функцій (4) або (6). Тому, слідуючи практиці штучного перетворення непарної функції в парну, що буда відмічена на прикладі синуса, запишемо

$$K''_{jl}(\tau) = \sum_s \text{sgn}(\tau) C_s e^{\lambda_s |\tau|}, \quad (12)$$

$$\text{або} \quad K''_{jl}(\tau) = \sum_s e^{-\alpha_s |\tau|} (\text{sgn}(\tau) A_s \cos \beta_s \tau + B_s \sin \beta_s \tau), \quad (13)$$

$$\text{де} \quad \text{sgn}(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{при } \tau > 0, \\ 0 & \text{при } \tau = 0, \\ -1 & \text{при } \tau < 0. \end{cases} \quad (14).$$

Звідси повний вираз для взаємної кореляційної функції (9) в найбільш загальному випадку буде мати вигляд

$$K_{jl}^{xx}(\tau) = \sum_s (C_s + \text{sgn}(\tau) C'_s) e^{\lambda_s |\tau|} + \sum_r \left[(A_r + \text{sgn}(\tau) A'_r) \cos \beta_r \tau + (B_r + \text{sgn}(\tau) B'_r) \sin \beta_r |\tau| \right] e^{-\alpha_r |\tau|}, \quad (15)$$

де всі коефіцієнти – дійсні числа.

З (15) неважко бачити, що основна властивість взаємних кореляційних функцій

$$K_{jl}^{xx}(\tau) = K_{jl}^{xx}(-\tau) \quad (16)$$

виконується, причому її виконання при $\tau = 0$ досягається лише при правильному обліку сигнатури (14).

Доволі часто взаємні кореляційні функції практично отримують як результат зворотного перетворення Фур'є від відповідної спектральної щільності.

При цьому, природно, попередній розподіл на поліноми парних і непарних ступенів не проводять. Виникає лише завдання поділу доданків на парні і

непарні складові у вже отриманому виразі для $K_{ji}^{xx}(\tau)$.

Завдання це вирішувалося в [8], і ми наводимо тільки його остаточний результат:

$$\begin{cases} K'_{ji}(\tau) = \frac{1}{2}(K_{ji}^{xx}(\tau) + K_{ij}^{xx}(\tau)), \\ K''_{ji}(\tau) = \frac{1}{2}(K_{ji}^{xx}(\tau) - K_{ij}^{xx}(\tau)). \end{cases} \quad (17)$$

Приклад розкладання кореляційної функції на парні і непарні складові та їх аналіз

Проілюструємо отримані результати найпростішим прикладом (рис. 1).

Стационарний випадковий процес впливає на тривимірну систему першого порядку, що описується диференціальним рівнянням виду

$$\dot{z} - Wz = f, \quad (18)$$

де
$$W = \begin{vmatrix} -2 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & -1 & -2 \end{vmatrix}; \quad (19)$$

z і f – вектори узагальнених координат і сил відповідно.

Перша, ненульова компонента вектору f має нульове математичне очікування і кореляційну функцію, яка описується виразом виду:

$$K_{11}^{ff}(\tau) = 10e^{-4|\tau|}. \quad (20)$$

Рівнянню (18) відповідає матриця частотних характеристик виду:

$$\begin{aligned} \Phi(p) &= |pE - W|^{-1} = \\ &= \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} (p+2)^2 + 1 & -(p+3) & p+1 \\ -(p+3) & (p+2)^2 - 1 & p+1 \\ p+3 & -(p+3) & (p+2)^2 - 1 \end{vmatrix}, \end{aligned} \quad (21)$$

де $p = i\omega$; $\Delta = (p+1)(p+2)(p+3)$; E – одинична матриця; «-1» в ступені позначає зворотну матрицю.

Використовуючи ненульовий елемент матриці спектральних щільностей вектору f

$$S_{11}^{ff}(\omega) = \frac{40}{\pi(\omega^2 + 16)} \quad (22)$$

за допомогою залежності (1) формуємо матрицю спектральних щільностей вектору узагальнених координат

$$S_{zz}(\omega) = \frac{40}{\delta} \begin{vmatrix} |g(p)|^2 & -(p+3)g(p) & (-p+3)g(p) \\ -(p+3)g(-p) & |p+3|^2 & -|p+3|^2 \\ (p+3)g(-p) & -|p+3|^2 & |p+3|^2 \end{vmatrix}, \quad (23)$$

де $g(p) = (p+2)^2 + 1$; $\delta = \pi|(p+4)\Delta|^2$. (24)

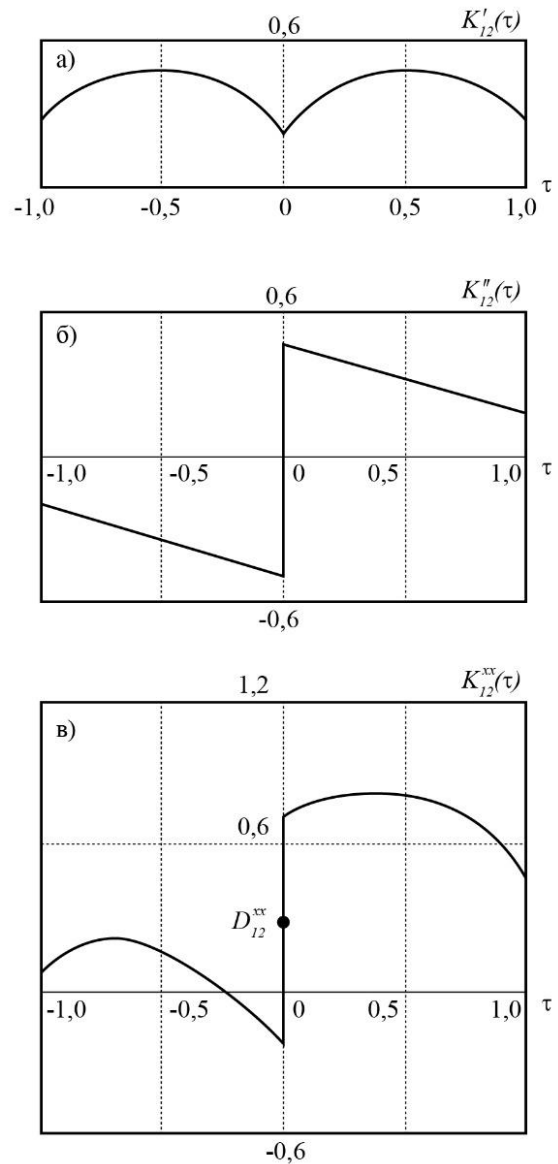


Рис. 1. Парна (а) та непарна (б) складові і загальний вигляд (в) доданків функції $K_{ji}^{xx}(\tau)$

З (23) видно, що недиагональні елементи дійсно можуть бути представлені у формі (8), наприклад у такому випадку:

$$S_{12}^{zz}(\omega) = \frac{40}{\pi} \left[\frac{p^2 - 15}{|(p+4)\Delta|^2} + \frac{p^3 - 7p}{|(p+4)\Delta|^2} \right], \quad (25)$$

хоча є й винятки (наприклад, такі матрицю спектральних щільностей: $S_{23}^{zz}(\omega)$ і $S_{32}^{zz}(\omega)$).

Зворотне перетворення Фур'є від елементів $S_{12}^{zz}(\omega)$ і $S_{21}^{zz}(\omega)$ дає такі взаємні кореляційні функції:

$$\begin{aligned} K_{12}^{xx}(\tau) &= -0,444e^{-\tau} + 0,333e^{-2\tau} - 0,381e^{-3\tau} + 0,198e^{-4\tau}, \\ K_{21}^{xx}(\tau) &= -1,888e^{-2\tau} + 2,476e^{-3\tau} - 0,881e^{-4\tau}. \end{aligned} \quad (26)$$

Використання операції (17) для виділення парних і непарних складових призводить до виразу такого вигляду:

$$K_{12}^{xx}(\tau) = -0,222e^{-|\tau|} - 0,777e^{-2|\tau|} + 1,048e^{-3|\tau|} - 0,341e^{-4|\tau|} + \text{sgn}(\tau) \cdot \begin{pmatrix} -0,222e^{-|\tau|} + 1,111e^{-2|\tau|} - \\ -1,429e^{-3|\tau|} + 0,540e^{-4|\tau|} \end{pmatrix}. \quad (27)$$

Залежності, що представлені на рис. 1, дають наче уявлення про характер зміни парної (а), непарної (б) складових і в цілому (в) одного з доданків функції $K_{ji}^{xx}(\tau)$. Через D_{12}^{xx} позначена відповідна частина дисперсії

$$D_{12}^{xx} = K_{12}^{xx}(0) = K_{21}^{xx}(0). \quad (28)$$

Висновки

Розривність непарної складової (рис. 1, б) знаходиться в явному протиріччі з безперервністю реаль-

них кореляційних функцій, що впливає з їх фізичної суті.

Необхідно відзначити, що причина подібної ситуації – порушень безперервності похідних таких аналітичних апроксимацій, як $e^{-\alpha|\tau|}$ і $e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau$ – полягає в особливостях математичного апарату, що застосовується при вирішенні диференціальних рівнянь.

Наукову новизну проведеного дослідження складає запропоноване тлумачення подібних виразів як границі послідовності безперервних функцій, що забезпечує їх безперервність в узагальненому сенсі та усуває виниклу суперечливість в даному випадку.

Практична значущість роботи полягає у побудові моделі взаємної кореляції узагальнених координат лінійної системи з урахуванням особливостей поведінки кореляційних функцій.

Перспективи дослідження можуть бути пов'язані із подальшим дослідженням поведінки кореляційних функцій з представленням останніх як границі послідовності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Van Trees H. L., Bell K. L., and Tiany Z. (2013) *Detection Estimation and Modulation Theory*, 2nd Edition, Part I, Detection, Estimation, and Filtering Theory, John Wiley & Sons, New York.
2. Tuzlukov V. P. (2002) *Signal Processing Noise*, CRC Press LLC, Boca Raton.
3. Mourad Barkat (2005) *Signal Detection and Estimation*, Artech House, Boston.
4. Middleton D. (2012) *Non-Gaussian Statistical Communication Theory*, John Wiley & Sons, New Jersey.
5. Zhao Huihong, and Chenghui Zhang (2016) "Non-Gaussian noise quadratic estimation for linear discrete-time time-varying systems", *Neurocomputing*, 174 (B), pp. 921- 927, DOI: <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2015.10.015>
6. Kunchenko Y. P. (2002) *Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables*. Germany, Aachen: Shaker Verlag.
7. Vokorokos L., Marchevský S., Ivchenko A., Palahina E., and Palahin V. (2016) "Parameters Estimation of Correlated non-Gaussian processes by the Method of Polynomial Maximization", *IET Signal Processing*, pp. 313-319, DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-spr.2016.0142>
8. Ahlen A., Sternad M. (1989) "Optimal deconvolution based on polynomial method", *IEEE Trans. Acoust. Speech*, 37 (2), pp. 217-226.
9. Towghi N., Javidi B. (2001) Image recognition in the presence of non-Gaussian noise with unknown statistics, *J. Opt. Soc. Am.*, 18 (11), pp. 2744-2753, DOI: <https://doi.org/10.1364/josaa.18.002744>
10. Guo L., Wang H., Chai T. (2006) "Fault detection for non-linear non-Gaussian stochastic systems using entropy optimization principle", *Trans. Inst. Meas. Control*, 28 (2), pp. 145-161, DOI: <https://doi.org/10.1191/0142331206tm169oa>
11. Huihong Zhao, Chenghui Zhang (2016) "Non-Gaussian noise quadratic estimation for linear discrete-time time-varying systems", *Neurocomputing*, 174, pp. 921-927, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.10.015>

Received (Надійшла) 14.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Cross-correlation of a multidimensional system

Yevhen Kalinin, Oleksii Kolomiitsev, Alina Rybalchenko

Annotation. The subject of research in the article is the peculiar behavior of the mutual correlation functions of generalized coordinates - the presence of a discontinuity of the first kind when the argument passes from its positive values to negative ones. **The goal** is to assess the possibility of forming a gap between the even and odd components of the correlation function and to substantiate this phenomenon. **Applied methods:** comparison of two functions of real variables based on the Fourier transform, statistical methods of data analysis, theory of random functions, correlation analysis. **The obtained results:** construction of principles for obtaining even and odd components of the correlation function of a multidimensional linear system with an analysis of their continuity in the general sense; the interpretation of such expressions is proposed as the limit of a sequence of continuous functions, which ensures their continuity in the general sense and eliminates the inconsistency that has arisen in this case. **The practical significance of the work** lies in the construction of a model of cross-correlation of generalized coordinates of a linear system, taking into account the peculiarities of the behavior of the correlation functions.

Keywords: correlation analysis; multidimensional linear system; even and odd components; continuity, random variables.

A. Kapiton¹, R. Baranenko², D. Tyshchenko³, T. Franchuk³

¹ National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

² Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

³ Kyiv National University of Trade and Economics, Kiev, Ukraine

THE THEORY OF SYNERGETICS AS A METHODOLOGICAL BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF NONLINEAR PROCESSES IN IT INDUSTRY

Abstract. The article analyzes the state and development of synergetics. Features of synergetics are considered. An analysis of its applications is given. The issues of evolution and self-organization reflected in synergetics are considered. The processes of the information field are shown, related to synergetics. The conclusion about possible construction of the synergetic theory of the information is made. In particular, the applications of synergetics are considered: the theory of dynamic chaos, the theory of deterministic chaos, the theory of fractals, the theory of catastrophes, linguistic synergetics and forecasting. It is shown that synergetics creates supporting positions for the development of modern, new, promising areas of theoretical informatics: nanoinformatics, bioinformatics, quantum informatics, geoinformatics, definite informatics, Semantic Web and others.

Keywords: information, philosophy of information, synergetics, information field, modeling.

Introduction

The theory of synergetics as a methodological basis information processes, is able to most fully reflect the complex nonlinear processes in IT industry, to investigate its systemic nature, sources of spontaneity, disorder and, at the same time, development. In recent years, there has been a rapid growth of interest in the interdisciplinary field, which is called "synergetics". Solid monographs, textbooks, articles, etc. are published. Synergetics as a worldview category covers all new areas of knowledge and ideas, sometimes, incidentally, unjustifiably and even incorrectly.

The Internet is full of publications and discussions on this topic.

The theory of the information field is developing more modestly, but recently work in this area began to serve as a generalization of many processes occurring in computer science.

The information field and the infosphere serve as a source of information and description of the surrounding world. According to the authors, the mutual consideration of synergetics and the information field will enrich the information theory and methodology of information processes research.

Analysis of recent research and publications.

The interpretation of the term "synergetics" can obviously come from the creator of this wonderful field, O. Evzikova. According to his definition, synergetics deals with the study of systems consisting of a very large number of their constituent components (subsystems), which are in a coordinated interaction, determine the behavior and properties of the system as a whole [1].

This definition has become a classic and therefore literally passes from one work to another by a variety of authors: V. Tron, M. Boguslavsky, V. Budanov, E. Knyazeva, S. Kurdyumov, V. Kremen, I. Kudryavtsev. This word means the joint action of these components. It was noted that the term "synergetics" was preceded by the religious origin "synergy", also means an act of merger (with some higher force) [1, 2, 4-6].

It is the synergetic approach that shows the most important role of resonant phenomena, scaling (in computer science, most often, doubling) in the processes of evolution and revolutionary states of information systems.

Extremely interesting coverage of these aspects can be found in the works of the famous scientist V. Budanov and his colleagues, in particular, in the work of V. Budanov. In general, the provisions discussed here are disclosed in detail in the works of a well-known expert in synergetics V. Kremen, Y. Danilov (and a number of other authors). Defining the role and place of synergetics in modern information theory, V. Kremen and Y. Danilov points out that in this rather new field of knowledge (as in many others) synergetics leads a bridge through the gap that separates the reductionist approach in the assessment of phenomena from the holistic [5, p.77].

In contrast to ontologies and model descriptions of various individual specific sciences, synergetics describes the general patterns of evolution and behavior of systems.

Synergetics establishes relationships and reflections of interconnected systemic phenomena. Synergetics provides tools, approaches and methodology for a reasonable transfer of the results of the study of subsystems, parts, sections to their integral integrated and higher in the hierarchy system levels. Here, however, we can only talk about applied synergetics.

Main part

Consider the most studied areas of synergetics. A short list of areas of applied synergetics in numerous scientific sources for the query "synergetics" as of early 2021 is as follows, namely: applications of synergetics are distributed between different areas:

the theory of dynamic chaos explores the extremely complex, hidden order of behavior of the observed system; the phenomenon of turbulence;

the theory of fractals deals with the study of complex self-similar structures, often arising as a result of self-organization.

The process of self-organization itself can also be fractal; catastrophe theory investigates the behavior of self-organizing systems in terms of bifurcation, attractor, instability; linguistic synergetics and prognosis; semantic synergetics; psychosynergetics (synergetic processes in psychology), etc.

Thus, characterization of synergetics as a scientific paradigm includes three main ideas: openness, nonlinearity, dissipation (Fig. 1).

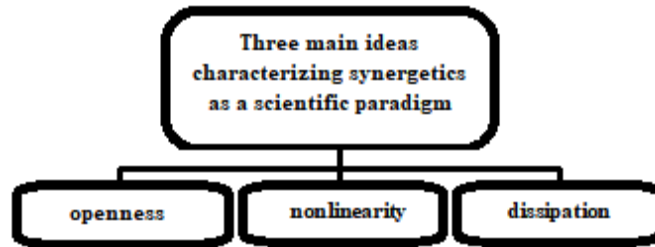


Fig. 1. Three main ideas characterizing synergetics as a scientific paradigm

For analysis of fluctuations requires information system that can provide failures early, processing, analysis, and distribution information on socio-economic processes occurring in society. The fundamental principle of self-organization is the emergence of a new order and the complication of systems due to fluctuations (random deviations) of the states of their elements and subsystems. Such fluctuations are usually suppressed in all dynamically stable and adaptive systems due to negative feedback, ensuring the preservation of the structure and close to equilibrium state of the system.

An important concept of synergetics and synergetic approach is chaos. Chaos in synergetics has dual essence. On the one hand, there is chaos destructive and leads to disorganization of the system, and on the other - it is constructive and contributes to the processes of organization.

Openness of information systems is shown, first of all, due to the intensive exchange of information with the external environment. Such information exchange provides an opportunity ensure coherence of actions, in addition, openness allows the existence of stable nonequilibrium states of the system, or its attractors. Attractors, in turn, ensure existence such a form of organization that is adequate self-structuring of the system.

But in more complex open systems, due to the influx of energy from the outside and increasing imbalance, deviations increase over time, accumulate, cause the effect of collective behavior of elements and subsystems and, ultimately, lead to "shaking" the former order and due to relatively short chaotic state or to the destruction of the old structure, or to the emergence of a new order.

Well-known authors agree that synergetics plays the role of metascience, and therefore it is especially productive in interdisciplinary areas and in the latest areas of scientific and technological progress, which, of course, include the study of modern information systems and information processes in them.

The following notions of synergy also play an important role in the synergetic approach ghettoes as fluctuations and bifurcation points.

Fluctuations as small deviations from statistical equilibria are massive about phenomena of changes that occur in the system.

However, the impact on these changes is difficult to determine you without statistical analysis of those phenomena which cause such deviations.

The same is true of synergetics and the general theory of information processes and systems, the mathematical apparatus serving them, because in both visions mathematical descriptions support the general theory of systems, especially dynamic ones. Synergetics is multifaceted, as expected from an interdisciplinary approach. At the same time, it has a kind of "zest", the same one that helped to increase interest in it. According to some authors, synergetics gives its user interesting tools for the study of dynamic information systems and processes and systemic impact on them. This is all the more important because the signs of dynamic processes in modern conditions are rapidly accelerating the functioning of information systems are becoming more pronounced.

In addition, in synergetics, a kind of link between these two approaches, the consideration takes place at an intermediate, mesoscopic level, and macroscopic manifestations of processes occurring at the microscopic level occur "by themselves" due to self-organization, without a guiding and guiding "hand". acting from the outside of the system. This fact is so important that synergetics could be defined as a science of self-organization and as a science that expands the vision of the studied phenomena so that there are previously unavailable opportunities for generalizations, giving rise to fundamentally new promising scientific solutions (including in the field information processes and systems).

Thus, it seems that synergetics creates a foothold for the development of modern, new, promising areas of theoretical informatics, such as nanoinformatics, bioinformatics, quantum informatics, geoinformatics, definite informatics entrostat, theoretical informatics, SemanticWeb (Ontonet), macromedia, and infodynamics. To a large extent, this is due to the fact that these and other new disciplines arise and develop as interdisciplinary.

For example, if we resort to attempts to allocate nanoinformatics in a separate special field of knowledge, we can immediately assume that

knowledge information in classical computer science in some way connects and intertwines with knowledge information in the field of nanotechnology, complementing and developing each other and providing a qualitatively new effective tool for information services of nanotechnologies. At the same time there are processes more perfect and bigger, than simple reduction of one in another, ie processes for the description of which only the reduction approach can appear insufficient.

Some new mechanisms of functioning with new parameters are self-organized, and in themselves the former parameters of the state do not disappear - they remain, but the system is much more productive to represent not in them, but in others - the parameters of order.

I repeat: the relationship between the parameters of the order and the parameters of the state is not one-way - there is a mutual two-way counter-directed relationship. As many authors note, the famous researcher Hacken called such a bilateral dependence a circular causality.

Conclusions

Thus, in synergetics there is a reassessment of the role of chaos in the evolution of nonlinear complex systems. It is proved that the development process is associated with a large the number of coincidences they have weak, small impact and not determined process dynamics. Only a few attempts pass to the next level of development, therefore, chaos was seen as a

destructive force, it has a hidden potential for small fluctuations, coincidences. They are at the micro level certain conditions may determine the general the course of events, this requires an unstable state of an open nonlinear medium. This means the sensitivity of the nonlinear medium to small fluctuations that amplified by nonlinear positive feedback. In condition instability there is a connection of micro and macro scales. And small disturbances can determine the macro picture of events.

Characterization of synergetics as a scientific paradigm includes three main ideas: openness, nonlinearity, dissipation. The proposed direction of information-theoretical research is often called synergetic information theory. Apparently, this name of the theory is due primarily to the fact that synergetics is able to describe the reflection of systemic formations, such as order and chaos.

Therefore, given that the term synergetics translated from the Greek (synergetikos) literally means a common, coherent, the phrase "synergetic information theory" is justified.

The article substantiates the theoretical and methodological principles of a synergetic approach to information support of information systems based on the study of its patterns, trends, features, consisting in the presence of self-organization in the subject and in the object in a given area; nonlinearity; chaos as destructive and at the same time a constructive phenomenon; fluctuations, bifurcation points, that lead to changes in the system.

REFERENCES

1. Evzikova, O. Google Education Tools URL: <http://teachtech.ru/instrumenty-veb-2-0/instrumenty-google-dlya-obrazovaniya.html>.
2. Hafiak, A. (2019). Problems of professional competence of future specialists on information and communication technologies in universities. Series: Education And Pedagogy, 10 (2), 15-18.
3. Голубев, В., Гавловський, В., Цимбалюк, В. Інформаційна безпека: проблеми боротьби зі злочинами у сфері використання комп'ютерних технологій. Запоріжжя: Просвіта, 2021. 252с.
4. Синергетичний підхід до інформаційного забезпечення системи державного управління URL: http://www.economy.in.ua/pdf/2_2010/34.pdf
5. Лузік, Е.В. Системно-синергетичний підхід до проектування самостійнопізнавальної діяльності студентів у вищих навчальних закладах. Модернізація вищої освіти в Україні і світі: десять років наукового пошуку: колективна монографія Х.: Вид – во НУА, 2009. – С. 76-90.
6. Ognevuyk, V., Sysoieva, S. 2015. Training of educational experts in Ukraine: experimental interdisciplinary program. The advanced science journal (6), pp. 98-103.

Received (Надійшла) 28.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Теорія синергетики, як методологічне підґрунтя розвитку нелінійних процесів ІТ галузі

А. Капітон, Р. Бараненко, Д. Тищенко, Т.Франчук

Анотація. Стаття аналізує стан і розвиток синергетики. Розглянуто особливості синергетики. Авторами виконано ґрунтовний аналіз її складових. Розглянуто питання еволюції і самоорганізації, що відображені в синергетиці. Показані та проаналізовані процеси життєдіяльності інформаційного поля, які безпосередньо пов'язані з синергетикою. На основі проведеного аналізу зроблено висновок про можливу побудову синергетичної теорії інформації. Зокрема, розглянуто наступні складові синергетики: теорія динамічного хаосу, теорія детермінованого хаосу, теорія фракталів, теорія катастроф, лінгвістична синергетика і прогностика. Показано, що синергетика створює опорні позиції для розвитку сучасних, нових, перспективних напрямків теоретичної інформатики: наноінформатики, біоінформатики, квантової інформатики, геоінформатики, дефінітної інформатики, SemanticWeb та інших.

Ключові слова: інформація, філософія інформації, синергетика, інформаційне поле, моделювання.

С. Ю. Леонов, Б. Р. Кліщов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕХРЕСНИХ ПЕРЕШКОД НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ

Анотація. В даній статті розглянуто вплив перехресних завад на роботу електронного пристрою, проєктування якого необхідно виконати. Проаналізовано причини та механізм виникнення перехресних перешкод, які можуть порушити коректну роботу пристрою через зміну логічного рівня сигналу на провіднику-жертві внаслідок впливу на нього наведеної перехресної перешкоди. Моделювання та дослідження впливу перехресних завад було зроблено в пакеті Allegro Sigrity SI. При аналізі електронного пристрою, підставлялися різні показники частоти. Провідник-жертва досліджувалась при різних логічних рівнях логічних сигналів.

Ключові слова: електронний пристрій, завада, електромагнітна сумісність.

Вступ

Зазвичай, в складному пристрої знаходиться значна кількість різних елементів. Всі ці елементи зв'язані провідниками на платі, які можуть знаходитися досить близько один до одного та впливати на загальну роботу пристрою. Логічний рівень сигналу в провідниках плати може змінитися на протилежний внаслідок впливу перехресних перешкод. Тому, актуальним є питання забезпечення правильності вихідних даних пристрою з урахуванням можливого впливу перехресних завад, що виникають у лінії зв'язку через наявність сигналу у сусідніх лініях передачі [1] та зумовлених електромагнітною сумісністю провідників.

Шуми викликані сигналами, пов'язаними із сигналами в сусідніх провідниках, можуть викликати завади сигналу в мережі жертви. Експертна система Allegro Sigrity SI розраховує шум, викликаний в провіднику S3, зумовлений сусідніми провідниками R2 та R3. Тип провідника S3 передбачає, що він може бути легко пошкоджений зовнішнім шумом. Так само провідники R2 та R3 здатні викликати перешкоди. На рис. 1 продемонстровано типову схему для проблеми перехресних завад.

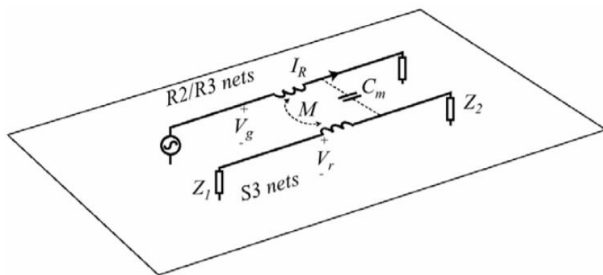


Рис. 1. Типова схема для розрахунку перехресних завад

Шум виникає через два різних механізми зв'язку - ємнісний та індуктивний. Для провідника із слабким зв'язком величина індукованого шуму приблизно може бути розрахована як [2],

$$V_r = \begin{cases} (Z_1 \parallel Z_2) C_m \frac{d}{dt} V_g(t) \text{ якщо ємнісний зв'язок} \\ M \frac{d}{dt} I_R(t) \text{ якщо індуктивний зв'язок} \end{cases} \quad (1)$$

Значення взаємної ємності, C_m та взаємної індуктивності M , між двома доріжками обчислюються «Алгоритмом взаємної індуктивності та ємності» [3]. Основні процедури обчислення перехресних завад аналогічні процедурам алгоритму зв'язку вводу / виводу [4]. При цьому в алгоритмі розрізняють два види входів:

- Х сигнальні - за якими подається інформація, яка підлягає обробці;
- Т настроювальні - визначаючі параметри настройки алгоритмів.

Але перехресні завади обчислюються у часовій та частотній областях, тоді як алгоритм зв'язку вводу / виводу виконує лише обчислення частотної області. Якщо сигнал аналоговий, то алгоритм передбачає, що сила зв'язку між двома провідниками збільшується лінійно з частотою і досягає свого максимального значення, коли загальна сумісна довжина становлять чверть довжини хвилі сигналу. Величина напруги шуму обчислюється в частотній області і апроксимується, як показано нижче.

Якщо загальна довжина мережі S3 менше чверті довжини хвилі сигналу, тобто

$$\left(L_{S3} < \frac{\lambda}{4} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot f \cdot 4} \text{ або } f < \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot L_{S3} \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \right), \text{ то}$$

$$V_r = \begin{cases} 2\pi f \cdot V_g \cdot C_m \cdot 100 \cdot I_{eq} \text{ для ємнісного зв'язку} \\ 2\pi f \cdot I_{max} \cdot M \cdot I_{eq} \text{ для індуктивного зв'язку} \end{cases} \quad (2)$$

Якщо загальна довжина мережі S3 перевищує чверть довжини хвилі сигналу, тобто $(L_{S3} \geq \frac{\lambda}{4} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot f \cdot 4} \text{ або } f \geq \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot L_{S3} \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}})$, то зв'язок обчислюється на частоті довжини чверті хвилі,

$$V_r = \begin{cases} \frac{4.71 \cdot 10^{10} \cdot C_m \cdot 100 \cdot I_{eq} \cdot V_g}{L_{S3} \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \text{ для ємнісного зв'язку} \\ \frac{4.71 \cdot 10^8 \cdot M \cdot I_{eq} \cdot I_{max}}{L_{S3} \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}} \text{ для індуктивного зв'язку} \end{cases} \quad (3)$$

де L_{S3} - загальна довжина провідника S3, а ϵ_{eff} - ефективна відносна проникність ізоляції. Число 100 в чисельнику ємнісного рівняння зв'язку є імпедансом мережі жертви за замовчуванням.

Якщо сигнал цифровий, максимальна напруга завади обчислюється у часовій області як,

$$V_r = \begin{cases} [V_{\max} - V_{\min}] * C_m * 100 * I_{eq} / \tau \text{ для емкісного} \\ I_{\max} * M * I_{equiv} / \tau \text{ для індуктивного зв'язку} \end{cases} \quad (4)$$

де τ - тривалість сигналу. Інші параметри обчислюються таким же чином, як і вище. Перехресні завади ігноруються, якщо два сегменти розділені провідниками площинами.

Мета статті. Провести моделювання та аналіз роботи електронного пристрою під впливом перехресних завад у зв'язку з можливістю зміни логічного стану на протилежний в окремих провідниках приладу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в застосуванні системи ORCAD для дослідження та аналізу роботи мікросхеми з урахуванням електромагнітної сумісності з можливістю зміни

логічного стану в провідниках в результаті дії перехресних завад.

Основна частина

Такі фактори як товщина, ширина, відстань між провідниками та їх кількість можуть викликати спотворення сигналу на провіднику-жертві.

Спочатку була побудована структурна схема пристрою в системі автоматизованого проектування ORCAD. На входи пристрою подаються чотири сигнали, які інвертуються та йдуть на вхід JK-тригеру. Виходи тригеру об'єднуються через логічний елемент «І» та подаються на вихід схеми.

Далі було отримано його часові діаграми, створено анотацію та запущено перевірку правил. Після цього було виконано трасування створеної плати в Allegro PCB. Схему та плату можна побачити на рис. 2.

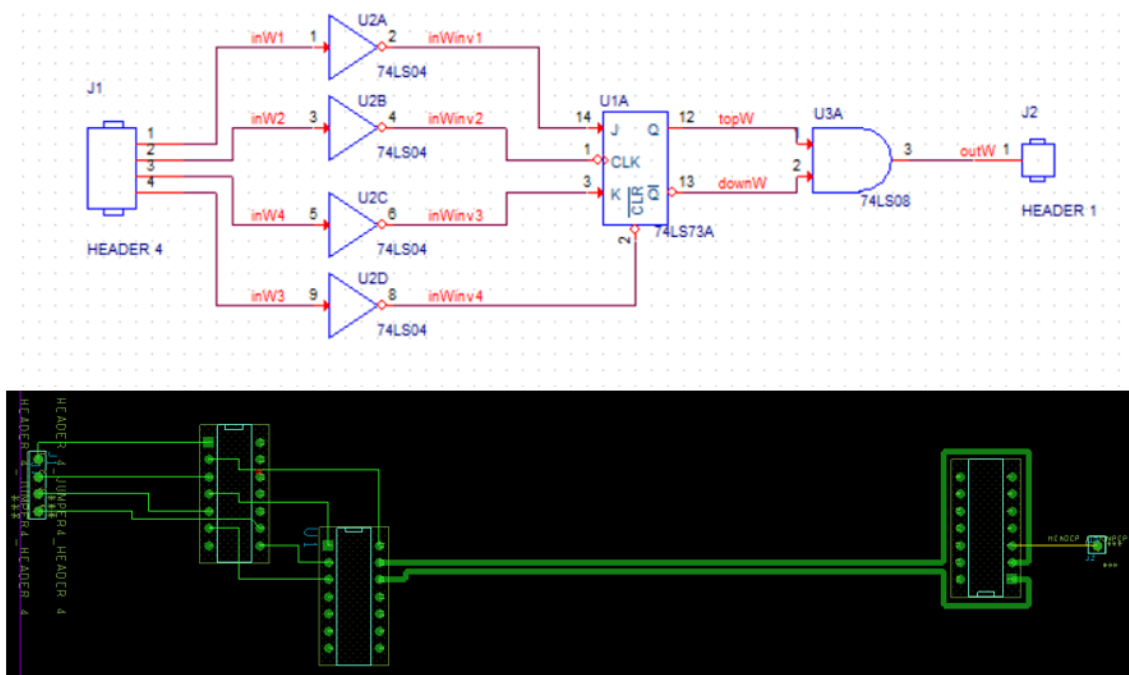


Рис. 2. Схема та плата пристрою

Чотири інвертори схеми були об'єднані в один елемент плати, тому що вони виконують аналогічну функцію. Дана плата розроблена для демонстрації впливу перехресних завад в окремих провідниках на роботу електронного пристрою. Елемент U3, розміщений на платі таким чином, щоб між ним та елементом U1 можна було розмістити два відносно довгих провідника досить близько один до одного. Це важливо, адже довжина теж впливає на величину перехресної перешкоди.

Досліджуваними провідниками було обрано провідника з іменами topW та downW. Їх товщина становить 1 мм, довжина ділянки, на якій вони паралельні - 80.01мм. Провідник topW являється жертвою, а downW – агресором. Поведінку провідників під впливом перехресних перешкод було промодельовано в пакеті Allegro Sigrity SI. Спочатку для topW був встановлений логічний рівень сигналу

Quiet Lo, а для downW – задано послідовність сигналів 1000 0110 з частотою 100 MHz. Результати роботи можна побачити на рис 3.

Як видно з рис. 3, провідник topW, тобто жертва, має спотворення в сигналі, коли провідник-агресор змінює свій логічний стан на протилежний. В даному випадку це незначні спотворення, але варто пам'ятати, що було промодельовано лише вплив одного провідника на другий. В звичайних обставинах на провідник можуть впливати десятки та сотні інших провідників, що може збільшити спотворення сигналу настільки, що логічний стан провідника зміниться на протилежний. Це вплине на правильність отримуваних вихідних даних електронного пристрою, навіть, іноді, може привести до збою в роботі приладу та вивести його зі строю. Далі, було змінено логічний стан жертви на Quiet Hi та промодельовано. На рис. 4 показано результати моделювання.

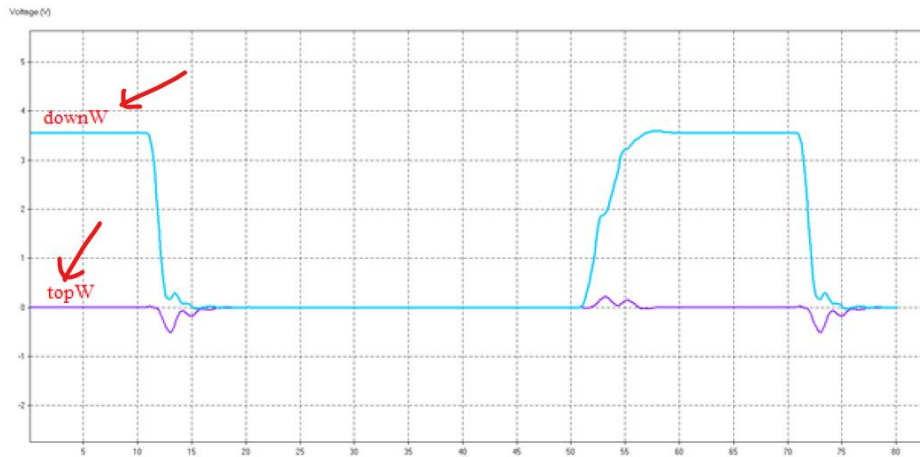


Рис. 3. Часова діаграма впливу перехресних завад на провідник-жертву

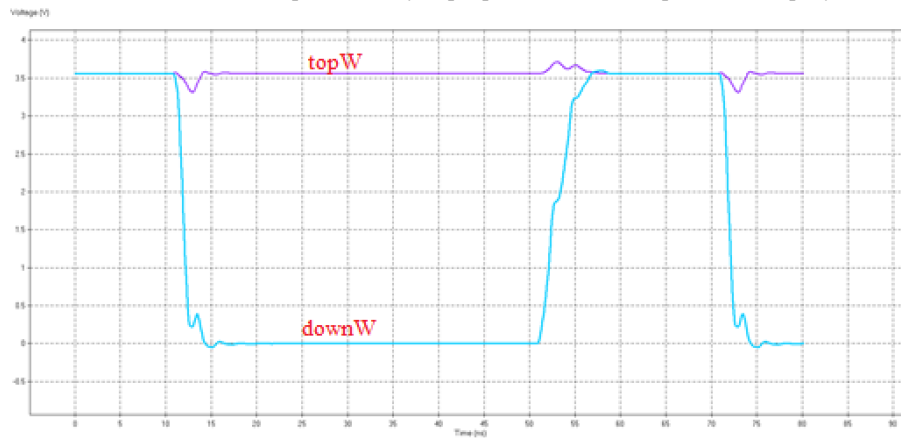


Рис. 4. Вплив провідника агресора на провідник-жертву з логічним станом Quiet Hi

З рис. 4 видно, що провідник-жертва також спотворюється в сигналі, навіть якщо її початковий стан Quiet Hi.

Після цього, було перевірено вплив частоти зміни сигналу на провіднику-агресорі на перехресні перешкоди. Для цього на провідник downW подано чергу логічних сигналів "1", "0", "0", "0", "0", "1", "1", "0" з частотою 1000 МГц, на провідник topW – сигнал низького рівня Quiet Lo. Результати наведені на рис. 5.

З рис. 5 видно, що показники максимальних перехресних завад майже не змінилися, але сигнал

став ще більше спотворений, що доводить вплив частоти на перехресні завади.

Як і з частотою 100 МГц, протестовано роботу провідників при topW при високому рівні сигналу (рис. 6). З рис. 6. видно, що він по числовим значенням не відрізняється від результатів роботи при 100МГц та topW – Quiet Hi, але, як і попередній схемі, сигнали більш спотворені.

Використовуючи отримані результати, для зручного порівняння показників перехресних завад було створено таблицю з числовими показниками перехресних перешкод (табл. 1).

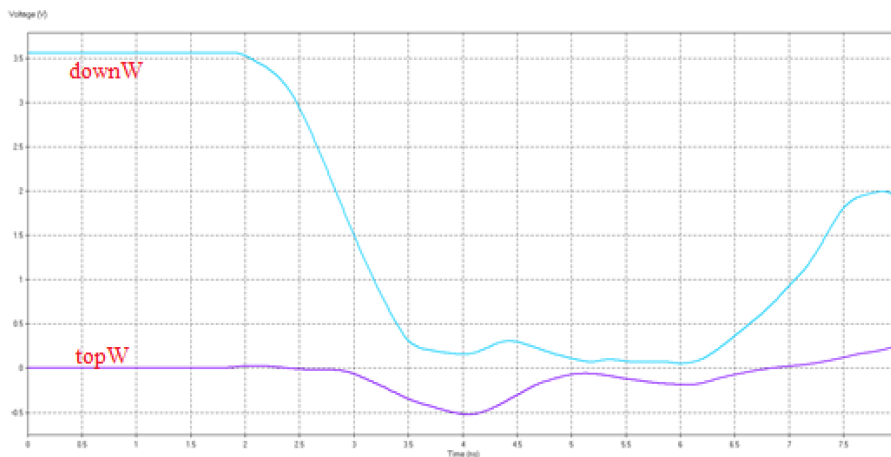


Рис. 5. Вплив зміни частоти на перехресні завади

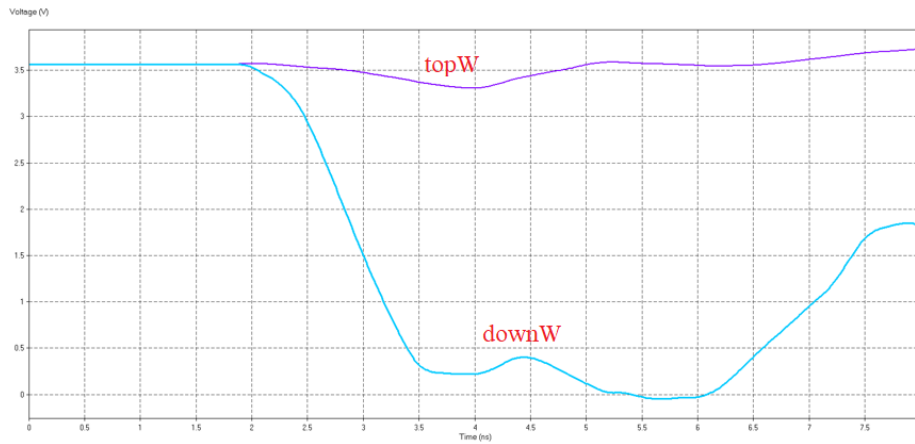


Рис. 6. Вплив логічного стану провідника жертви на перехресні завади при 1000 МГц

Таблиця 1 – Числові значення перехресних завад

	Quiet Lo	Quiet Hi
100 МГц	217.218 мВ	247.12 мВ
1000 МГц	258.866 мВ	254.21 мВ

Порівнюючи числові значення перехресних завад, визначено, що рівень логічного стану провідника-жертви збільшує перехресні перешкоди при високому рівні сигналу та частоті роботи пристрою 100 МГц, але зменшує при високому рівні сигналу та 1000 МГц.

Варто зазначити, що дослідження проводилося на елементах серії CMOS, яка найменш вразлива до збоїв, через її досить високий рівень логічної одиниці.

Як видно з попередніх рисунків та табл. 1, перехресні перешкоди можуть значно вплинути на роботу схеми. Тому, дуже важливо та актуально досліджувати електромагнітну взаємодію в різних областях.

Дослідження причин виникнення перешкод між провідниками на платі електронного пристрою

дозволяє знайти помилки при забезпеченні електромагнітної сумісності пристрою на стадії його проектування і побудови [5, 6].

Обговорення результатів

В ході дослідження було виконано моделювання та аналіз впливу частоти та логічного стану на числові значення перехресних перешкод. При низькому рівні сигналу на одному з провідників, перехресні перешкоди збільшуються при збільшенні частоти зміни сигналу на провіднику агресорі, при Quiet Hi, ці зміни менш помітні та менш значні, але перехресні перешкоди теж збільшуються при збільшенні частоти.

Висновки

Таким чином, в ході даного дослідження, за допомогою системи автоматизованого проектування ORCAD та пакету Sigcity, було встановлено вплив зміни частоти сигналу на провіднику-агресорі та логічного стану на провіднику-жертві на величину перехресної перешкоди. Отримано числові значення перехресних перешкод в провідниках з різною частотою та різним логічним станом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мінімізація перехресних зв'язків у електропроводці та кабельних мережах, Р. Дж. Мор, 2007
2. К. Пол, Вступ до електромагнітної сумісності, Нью-Йорк, 1992.
3. Підсумок взаємної індуктивності та ємності
4. Підсумок алгоритму зв'язку введення / виводу.
5. Савельєв А.Й. Дизайн комп'ютерів і систем, Москва: Вища школа, 1984. - 284 с.
6. Фей Дай, Ян Лю. Теорія та методи проектування кількісних оцінок щодо електромагнітної сумісності на рівні системи, 2019.

Received (Надійшла) 15.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Investigation of the effect of cross-barriers for the operation of the electronic device

S. Leonov, B. Klishchov

Abstract. This article discusses the effect of cross-noise on the operation of an electronic device. The causes and mechanism of cross-interference, which can disrupt the correct operation of the device due to a change in the logic level of the signal on the victim conductor, due to the impact of the above cross-interference, were analyzed. Modeling and study of the effect of cross-noise was done in the Allegro Sigcity SI package. When analyzing the electronic device, various frequency indicators were substituted. The victim conductor was examined at different logic signal levels.

Keywords: electronic device, noise, electromagnetic compatibility.

Helen Makogon¹, Elya Slavutskiy¹, Mykyta Churbanov¹,
Oleh Logvinenko¹, Viktoriia Iksarytsa², Olena Anenkova²

¹ Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv, Ukraine

² State boarding school with enhanced military and physical training “Cadet Corps” Kharkiv, Ukraine

DYNAMIC MONITORING OF TECHNICAL CONDITION OF STARTER BATTERIES IN THE PROCESS OF THEIR LIFE CYCLE ACCORDING TO BATTERY CARE AND BATTERY MANAGEMENT PROCEDURES

Abstract. The subject matter of the article is the lead-acid batteries carrier and management. The goal of the study is to develop a methodology for the technical condition monitoring of starter batteries in the process of their life cycle based on the use of modern information technology. The tasks to be solved are: to carry out a comparative analysis of Battery Care and Battery Management procedures and to determine the technical condition of starter batteries used on native wheeled and tracked vehicles, and to determine the key characteristics of battery monitoring during their life cycle; to determine the method of GB diagnostics for the implementation of dynamic monitoring of its technical condition during the life cycle in accordance with the procedures for battery care and management; to determine the general view of the functional diagram of the battery tracker – a software and hardware device capable of caring for the battery and managing it; to provide suggestions for improving the efficiency of battery maintenance using battery trackers. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. The following results are obtained. The suggested methodology makes it easy to determine, by comparing the data obtained at different times, in which batteries the degradation has just begun, and in which they have reached the level at which they need to be replaced without a fatal malfunction. Monitoring of the technical condition of the batteries using battery trackers implement the procedure for care and management of batteries, makes it possible to optimize the 12ST-85P battery maintenance schedule and come from the scheduled-interval maintenance system to the maintenance with parameter control. **Conclusions.** The development of battery trackers, hardware and software applications capable of battery care and battery management, can be seen as a promising area for the development of battery management. Proper care of the battery and charging equipment, proper operation and timely monitoring of the battery’s lifetime are the most important factors in its operation. Only in this case, it is possible to achieve the best economic efficiency of the GB use and prolong their lifetime. Battery Care and Battery Management by the means of a GB-tracker allows to optimize the maintenance schedule of the 12ST-85P batteries and to come from a planned preventive maintenance system to a parameter-controlled maintenance system. In this way it is possible to increase the period and reduce the number of operations to be carried out during the maintenance of the GB.

Keywords: Battery Care and Battery Management, a GB-tracker, the lead-acid batteries, the 12ST-85P battery maintenance

Introduction

Formulation of the problem and research tasks.

Battery Care and Battery Management procedures offer experience in monitoring the technical condition of starter batteries in the global automotive industry. The introduction of similar procedures in the operation of starter batteries used in domestic wheeled and tracked vehicles will provide an opportunity to optimize the schedule of their maintenance (MA) and move from the planned warning system to maintenance on demand with control parameters by obtaining operational and reliable information about the current state of GB. Battery Care can be understood as a set of measures that allows you to take care of the battery with the help of special devices, tools, software, etc. Battery Management can be understood as a set of measures that allows you to control the operation of the battery with the help of special devices, tools, software, etc.

The relevance of the study is due to the fact that the procedure for determining the technical condition of starter batteries used in domestic wheeled and tracked vehicles is similar to Battery Management and Battery Status control, but the procedure itself is ineffective in modern conditions and has a number of shortcomings that lead to excessive cost of human and material resources and significant underutilization of battery life.

In this regard, there is a need to develop battery-powered trackers - hardware and software devices capable of caring for and managing starter batteries.

Analysis of recent research and publications of recent research and publications on the above issues shows that the known methods of the GB operational assessment are based on the characteristics obtained by indirect measurements. The basis of such methods are special devices – GB analyzers. The principle of their operation is based on measuring the parameters of the battery (usually internal resistance) on alternating current for 10-20 seconds. The values of the measured parameters allow to estimate the degree of degradation of the battery and to predict the values of the reserve and nominal capacity, the current of the starter discharge GB. Existing methods of monitoring the technical condition of batteries are characterized by long duration, the negative impact of deep discharge, as well as significant energy and human costs [1, 2].

Express-diagnosis allows to reduce these shortcomings to a minimum and is based on the mathematical description of GB by means of parameters, proceeding from their properties [3-6]. Of course, the effectiveness of such measures will increase significantly with the use of modern information technology, electronic measuring devices, development of dynamic interfaces, creation of databases, etc.

The goal of the study is to develop a methodology for the technical condition monitoring of starter batteries in the process of their life cycle based on the use of modern information technology.

This goal defined the following research tasks:

- to carry out a comparative analysis of Battery Care and Battery Management procedures and to determine the technical condition of starter batteries used on native wheeled and tracked vehicles, and to determine the key characteristics of battery monitoring during their life cycle;

- to determine the method of GB diagnostics for the implementation of dynamic monitoring of its technical condition during the life cycle in accordance with the procedures for battery care and management;

- to determine the general view of the functional diagram of the battery tracker – a software and hardware device capable of caring for the battery and managing it; to provide suggestions for improving the efficiency of battery maintenance using battery trackers.

General scientific and special methods of scientific knowledge are used.

Main material

1. Characteristics for monitoring of batteries during their life cycle. Service life of the batteries under the current system of diagnosis and maintenance is limited and achievable only with strict adherence to the frequency and full implementation of the amount of installed works. Extension of service life of batteries is possible both through the introduction of new equipment for their diagnostics and through selection of a rational scope of work and their frequency of maintenance. Currently available technology maintenance of batteries in their operation allows monitoring the battery parameters for dynamic calculation of their service life (Table 1).

Table 1 – The GB diagnostic parameters for dynamic calculation of their service life

№	Name	Designation	Units of measurement
1	self-discharge		
2	Electromotive force	ε	B
3	Voltage	U	B
4	Electrolyte density		
5	Charging current	I	A

As we can see, the current set of diagnostic parameters is such, which provides indirect information about the capacity, which is considered as the main indicator of the service life of the battery. For dynamic calculation of service life and optimum maintenance terms the collection of such parameters requires great hourly costs, in particular the discharge jet, the discharge current I_d ; during the discharge period t_p [7, 8].

Influence of temperature (T) and pressure is automatically taken into account when calculating total charge capacity (C) and surplus capacity (C_f). According to the analogy described in the article, Q_{max} is also calculated and determined when the battery is in use. According to the world experience in the operation of batteries the determination of their technical

condition is similar to the procedures of Battery Management and Battery Status control, so the authors are encouraged to introduce such generalized technical condition of batteries used by the military.

SOH (State of Health) is defined as the state of health of the battery, which reflects the current condition of the battery in comparison with the ideal one.

SOC (State of Charge) is defined as the state of charge of the battery, which shows how much of the total charge is still stored in the battery.

SOC and *SOH* monitoring of the lead-acid battery using such a device will ensure the battery charge level monitoring, as well as provide a warning about the need to replace the battery.

The value of the battery charge level tends to decrease when the battery is used longer [9]. However, these data are not identical to the values for GB “health”. This leads to the conclusion about the relevance and feasibility of the conducted research.

It is interesting to note that instead of the term “electromotive force” (EMF) it is accepted to use the term “the voltage of an open circle”. The literal translation of the phrase “Open-circuit voltage (OCV)” corresponds to the physical essence of the electromotive force. Monitoring of such important GB parameters as impedance, depth of discharge, residual capacity, etc. can also be considered promising. Newly available at .

Passed Charge – integrated charge of the pulse indicator while the battery is being charged or discharged

SOC – state of charge at any time, defined as

$$SOC = \frac{Q}{Q_{max}}, \tag{1}$$

here Q – the transferred charge from the state of full charge;

DOD – depth of discharge;

$$DOD = 1 - SOC, \tag{2}$$

DOD_0 – last *DOD* reading before charge or discharge;

DOD_{charge} – *DOD* for a fully charged battery;

Q_{start} – charge required for $DOD = DOD_0$;

Q_{max} – maximum chemical capacity of the battery;

RM – residual power;

FCC – full charge power, the amount of charge transferred from a fully charged state.

2. Methods of GB diagnosing for dynamic monitoring of its technical condition during the life cycle according to the procedures for Battery care and management

Let’s illustrate the algorithm for determining the *SOC* and *SOH* of the 12ST-85P battery. Many diagnostic parameters are determined based on the need for analytical calculations. The authors analyzed the world experience on this issue, so it is further proposed to use the accepted international terms with the indication of known analogues.

Thus, the charge state (*SOC*) of a lead-acid battery, expressed in%, is the ratio of the remaining capacity C_r (*RC*) to the actual (useful) capacity C_f (*FCC*):

$$SoC = \frac{RC}{FCC} = \frac{C_r}{C_a}, [\%],$$

here RC (remaining capacity) – residual capacity C_r , FCC (full charge capacity) – actual (useful) capacity C_a at the present charge or discharge rate and temperature;

SOH controls this chemical degradation and is determined as a percentage (%) or fraction:

$$SoH = \frac{FCCH}{C_n} = \frac{C_a^{25}}{C_n}, \quad (3)$$

here $FCCH$ is the FCC at 25°C for design charge or discharge rate.

Thus, if an GB with a design capacity of 85 A h has a $FCCH$ of only 68 A h after one year of operation, its SOH is 80%.

Thus, the SOC determines how much charge is left before the need for maintenance and charging, while the SOH indicates when the battery will need to be replaced.

C_f (FCC) comes from the total chemical capacity of the battery C_{max} (Q_{MAX}) and battery impedance (R_b).

For example, for a new GB with a nominal capacity of $C_n = 85$ A h, when it is fully charged, the SOC is 100%, because FCC (C_f) is 85 A h, and C_r (RC) is also 85 A h.

If this battery is discharged so that the C_r (RC) is 68 A h, its SOC will be 80%.

In the process of charge or discharge of the GB is “transfer” of capacity. . Therefore, it is proposed to introduce the concept of *passed* capacity C_p (Q_{passed} ,) ie the capacity given or received by the $C_p = |\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$.

B during discharge / charge, respectively. It is logical to assume that. As the battery ages, its total chemical capacity C_{max} (Q_{max}) is usually lower than the design (nominal) capacity due to chemical degradation. C_{MAX} is estimated when the battery is at rest (for example, before commissioning) and is calculated by calculating the results of two EMF measurements ε_1 and ε_2 performed at rest.

Formally, the state of “rest” of the battery can be expressed by the condition that the speed of its discharge / charge $\frac{dV}{dt}$ does not exceed the given one, where $V(t)$ is the value of the voltage GB in time. For example, for AB 12ST-85P it is expedient to set a condition $\frac{dV}{dt} \leq 20 \frac{\mu V}{sec}$. In the laboratory, the state of “rest” of the AB reaches in a few hours.

$$\text{Then} \quad SoC_1 = \frac{\varepsilon_1}{C_{max}}; \quad (4)$$

$$SoC_2 = \frac{\varepsilon_2}{C_{max}}. \quad (5)$$

From expressions, (4) and (5) follows the value of C_{max} :

$$C_{max} = \frac{|\varepsilon_1 - \varepsilon_2|}{|SoC_1 - SoC_2|} \quad (6)$$

The corresponding ratio in this case is:

$$C_{MAX} = \frac{C_{PASSED}}{SOC_1 - SOC_2}, \quad (7)$$

here C_{PASSED} – is the charge passed between SOC_1 and SOC_2 ; SOC_1 – is the SOC batteries at rest before charging / discharging; SOC_2 – is the SOC of the recovered battery after charging / discharging (Fig. 1).

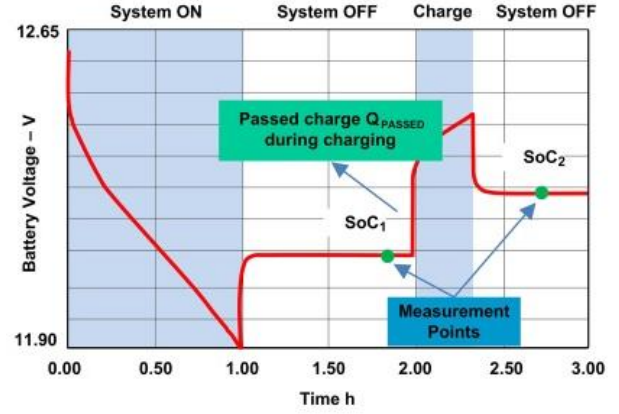


Fig. 1. SoC GB measurements

Then, the transferred capacity will be related to the maximum capacity ratio

$$C_{MAX} = \frac{C_n}{SoC_1 - SoC_2}, \quad (8)$$

here C_p – transferred capacity will be understood as the capacity measured between the “rest” of the battery before the transfer of capacity.

Thus, using expression (8) it is possible to obtain the state of the battery without conducting a full cycle of its discharge / charge.

Before use, when the battery is at rest and the current is below the threshold selected by the consumer, the SOC is determined using the measured voltage and a predefined table of EMF to SOC ratios, taking into account the temperature compensation. These data are unique to this type of battery and chemical composition. During charging and discharging, SOC is constantly calculated using C and C_f according to recurrent dependencies, and SOH is calculated using C^{25} and design capacity.

SOC and SOH calculations depend on an accurate estimate of C and internal resistance. R_m . We will add that at carrying out diagnostics by alternating current which is widely applied in modern automobile devices of express diagnostics, analogy of R_{in} is considered impedance of the R_{BAT} battery. When applying an external load, the impedance can be calculated measured according to Ohm's law for a full circuit by finding the difference between the measured voltage under load and the EMF, specific to the present current state of charge SOC and taking into account the GB temperature.

After calculating C_{MAX} , the same value is used to calculate SOC and SOH during charging / discharging until the next C_{MAX} update is performed. Similarly, R_{BAT} is estimated by the equation:

$$R_{BAT} = \frac{U - \varepsilon}{I}, \quad (9)$$

here U – is the battery voltage; ε – electromotive force; I – charge / discharge current.

Battery voltage is measured constantly, even in the absence of load. Continuous voltage measurement is used to update information about the current state of charge. Then, when the load is applied, the method of calculation determines the resulting charge passing through the system “GB – tracker”.” in the forward or reverse direction. After removing the load, the batteries are given some time to recover, and the voltage is measured again.

Using the data of two voltage measurements and the results of calculating the total charge, you can determine the maximum battery capacity. You can also calculate the current impedance based on the measured current, no-load voltage with corrections for temperature and charge status. Note that the term

“available capacity” is defined as the capacity that the GB has in the current conditions. The actual capacity is determined on a fully charged battery at a constant temperature $T = 25 \pm 2^\circ\text{C}$. Under such conditions, the ratio $S_d = S_f$. In other conditions, the actual capacity will be the calculated value of $k S_d$ (k is the coefficient that takes into account the change in the capacity of the GB depending on the temperature) [10, 11].

3. Functional diagram of the battery tracker - a software and hardware device capable of caring for and managing the battery. As a prototype of the chip for the software implementation of monitoring procedures Battery Care and Battery Management, it is proposed to use a chip type bq29312A.

Full-fledged bq20z80 monitoring mechanisms allow you to accurately measure the key characteristics of the AB: Fig. 2 shows a general view of the functional diagram of the battery tracker, the software part of which is implemented on the chip bq29312A [9].

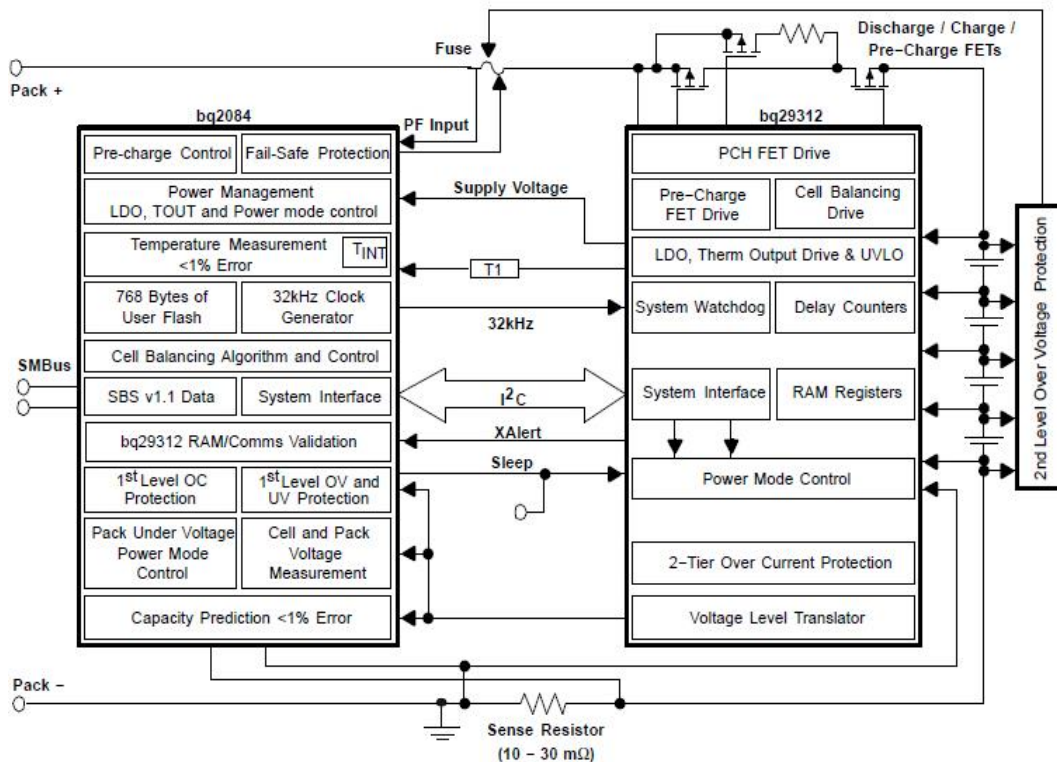


Fig. 2. General view of the functional circuit bq29312A

4. Projected schedule of maintenance during the GB life cycle of GB on their SOC and SOH according to the procedures of Battery Care and Battery Management. Monitoring the technical condition of batteries according to the procedure Battery Care and Battery Management provides an opportunity to optimize the schedule of maintenance GB 12ST-85P and move from the planned warning system maintenance to maintenance on demand with control parameters.

It is known that in order to provide electricity to all consumers of the tank, especially a reliable engine start, the operation of the fire control system, GB must have 75% of the remaining capacity in winter and 50% in summer, respectively. These values can be considered

thresholds for deciding whether to recharge the battery. Thus, the use of the SOC battery tracker will allow us to conclude that it is necessary to recharge the battery. The time spent on measuring procedures for rechargeable batteries at the site is not reasonable, as a result of comparing data obtained at different times will determine in which batteries the degradation has just begun, and in which it has reached the level when they need to be replaced without waiting for fatal failure.

It is possible to decide on the need to replace the GB based on the results of SOH measurements. As mentioned above, the proper operation and quality and timely maintenance of batteries during their service life are necessary conditions for their trouble-free operation

between maintenance and reduce the need for repair. Of course, a certain list of operations and three maintenance will remain unchanged for this type of GB - 12ST-85P are serviced lead-acid batteries. Such operations include the following:

- checking of reliability of fastening of tips of conductors with pole conclusions of batteries;
- checking of reliability of fastening of batteries on racks and in nests;
- checking the electrolyte level in all batteries; - cleaning the surface of the batteries from dust and dirt,

the contacts of the surface of the output terminals from oxide;

- checking the cleanliness of the vents in the plugs.

But the frequency of maintenance and control training cycle (CTC) can be optimized by using a battery tracker.

The following is a graph of the projected residual service life of the battery when monitoring the technical condition using the procedures Battery Care and Battery Management during its service life (Fig. 3).

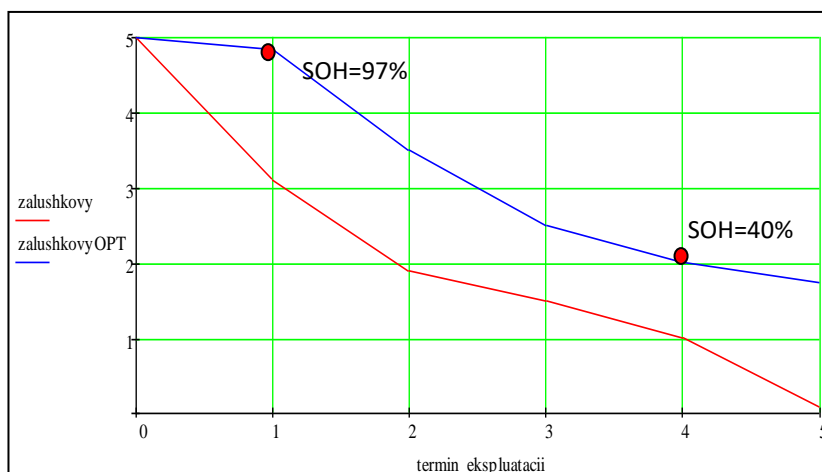


Fig. 3. Projected residual operational life of the battery during the monitoring of technical condition using Battery Care and Battery Management procedures during its service life

This figure compares the projected residual life of the battery during its service life without monitoring the technical condition using Battery Care and Battery Management procedures and with it. The graph also shows the moments of *SOH* AB assessment during the MA-1 and MA-2 of the machine, in which certain operations were postponed, in particular the CTC.

In the absence of a real battery tracker, the estimate of *SOH* and *SOC* AB was obtained according

to the proposed method based on the results of measurements of battery parameters. The optimal service life is proposed in the expression:

$$zalushkovy^{opt} = zalushkovy \cdot SOH \quad (10)$$

So, the application of Battery Care and Battery Management procedures during the life of the AB will allow. increase the period and reduce the volume of a certain number of operations during maintenance.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гумелёв В.Ю., Кочуров А.А. Факторы, влияющие на срок службы аккумуляторных батарей // Исследования в области естественных наук. 2013. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://science.snauka.ru/2013/05/4946>
2. Юров Ю.Ю., Постников А.А., Гумелёв В.Ю. Краткая оценка методов диагностирования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. // Современная техника и технологии. – 2015. – № 12 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/12/8775>.
3. Кочуров А. А. Теоретические основы решения проблемы увеличения сроков службы аккумуляторных батарей при хранении и повышения эффективности способов их восстановления / А. А. Кочуров, Н. П. Шевченко, В. Ю. Гумелёв. – Рязань: РВАИ, 2009 – 249 с.
4. Valve-Regulated Lead-Acid Batteries [Электронный ресурс] / Patrick T. Moseley, Jurgen Garche, C. D. Parker, D. A. J. Rand. – Amsterdam: Elsevier B. V., 2004. – URL: <http://bookree.org/reader?file=676368&pg=1>.
5. Метод оперативной диагностики доступной емкости свинцовых аккумуляторов (батарей) / А. А. Алешкин и [др.] // Электрохимическая энергетика. – 2013. – № 1. – С.46–53.
6. Постников А.А., Юров Ю.Ю., Гумелёв В. Ю. Оценка и выбор параметров для контроля технического состояния аккумуляторных батарей / А.А. Постников // Научный резерв. – Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В. Ф. Маргелова. – 2018. – № 1(1). – с.54-59.
7. Ольховиков С.В. Оцінка технічного стану хімічних джерел струму / С.В. Ольховиков // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 9. – С. 114-123.
8. Вайлов, А.М. Автоматизация контроля и обслуживания аккумуляторных батарей / А.М. Вайлов, Ф.И. Эйгель. – М.: Связь, 1985. – 156 с.
9. Simon Wen. Impedance TrackTM Gas Gauge for Novice, Application Report (SLUA375), [On-line]: Texas Instruments, Jan 2006: <http://www.ti.com/lit/an/slua375/slua375.pdf>
10. Lead-acid batteries: The growing need for monitoring state-of-charge and health. Electronic Products. Cambridge, MA URL: <https://www.electronicproducts.com/lead-acid-batteries-the-growing-need-for-monitoring-state-of-charge-and-health/>

11. Battery University, How to Measure State-of-Charge URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge/
12. Battery Council International, Lead Acid Batteries: http://batteryCouncil.org/?page=Lead_Acid_Batteries

REFERENCES

1. Gumelev V. Yu. and Kochurov A. A. (2013) "Factors Affecting Battery Life" [On-line], *Issledovaniya v oblasti yestestvennykh nauk*, № 5 – URL: <http://science.snauka.ru/2013/05/4946>.
2. Yurov Yu.Yu., Postnikov A.A. and Gumelev V.Yu. (2015) [On-line], "Brief evaluation of methods for diagnosing lead-acid storage batteries.", *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii*, № 12, URL: <http://technology.snauka.ru/2015/12/8775>.
3. Kochurov, A. A. Shevchenko, N. P. and Gumelev V. Yu. (2009), *Teoreticheskiye osnovy resheniya problemy uvelicheniya srokov sluzhby akkumulyatornykh batarey pri khraneni i povysheniya effektivnosti sposobov ikh vosstanovleniya* [Theoretical foundations for solving the problem of increasing the service life of storage batteries and improving the efficiency of methods for their recovery], RVAI, Ryazan', RU.
4. Patrick T. Moseley, Jurgen Garcke, and C. D. Parker, D. A. J. Rand. (2004), [On-line] Valve-Regulated Lead-Acid Batteries, Amsterdam: Elsevier B. V., NL. – URL: <http://bookree.org/reader?file=676368&pg=1>.
5. Aleshkin A. A. (ed.) (2013), "Method of on-line diagnostics of the available capacity of lead-acid accumulators (batteries)", *Elektrokhimicheskaya energetika*, № 1, pp.46–53.
6. Postnikov A.A., Yurov Yu.Yu. and Gumelev V. Yu. (2018), "Evaluation and selection of parameters for monitoring the technical condition of batteries", *Nauchnyy rezerv*, № 1(1), pp. 54-59.
7. Ol'khovikov, S.V. (2004), "Assessment of the technical condition of chemical current sources", *Systemy obrobky informatsiyi: zb. nauk. pr.*, vol. 9, pp. 114-123.
8. Vaylov A.M. and Eysel' F.I. (1985), *Avtomatizatsiya kontrolya i obsluzhivaniya akkumulyatornykh batarey* [Battery control and maintenance automation], Svyaz, Moscow, SU.
9. Simon Wen. Impedance TrackTM Gas Gauge for Novice, Application Report (SLUA375), [On-line]: Texas Instruments, Jan 2006: <http://www.ti.com/lit/an/slua375/slua375.pdf>.
10. Lead-acid batteries: The growing need for monitoring state-of-charge and health. Electronic Products. Cambridge, MA. URL: <https://www.electronicproducts.com/lead-acid-batteries-the-growing-need-for-monitoring-state-of-charge-and-health/>
11. Battery University, How to Measure State-of-Charge URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge/.
12. Battery Council International, Lead Acid Batteries [On-line]: http://batteryCouncil.org/?page=Lead_Acid_Batteries.

Received (Надійшла) 15.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Динамічний моніторинг технічного стану стартерних акумуляторних батарей в процесі їх життєвого циклу згідно процедур *battery care and battery management*

О. А. Макогон, І. О. Славуцький, М. І. Чурбанов, О. П. Логвіненко, В. В. Іксариця, О. В. Аненкова

Анотація. Предметом вивчення статті є оцінка параметрів свинцево-кислотних акумуляторних батарей та термінів їх служби задля планування технічного обслуговування при експлуатації свинцево-кислотних акумуляторних батарей. **Метою дослідження** є розробка методики моніторингу технічного стану стартерних акумуляторних батарей в процесі їх життєвого циклу на основі використання сучасних інформаційних технологій. **Завдання дослідження:** Провести порівняльний аналіз процедур Battery Care and Battery Management та визначення технічного стану стартерних акумуляторних батарей, які використовуються на вітчизняній колісній та гусеничній техніці, та визначити ключові характеристики для моніторингу АБ в процесі їх життєвого циклу. Визначити методику діагностування АБ для здійснення динамічного моніторингу її технічного стану в процесі життєвого циклу згідно процедур догляду за акумулятором та управління ним. Визначити загальний вигляд функціональної схеми акумуляторного треккера – програмно-апаратного приладу, здатного здійснювати догляд за акумулятором та управління ним. Надати пропозиції щодо підвищення ефективності технічного обслуговування акумуляторних батарей за допомогою акумуляторних треккерів. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи наукового пізнання**. **Отримані наступні результати:** За методикою, що пропонується, шляхом зіставлення отриманих в різний час даних нескладно визначити, в яких батареях деградація тільки почалася, а в яких досягла рівня, коли їх необхідно замінити, не чекаючи фатального збою. Моніторинг технічного стану акумуляторних батарей за допомогою акумуляторних треккерів, реалізуючих процедуру *Battery Care and Battery Management* надасть можливість оптимізувати графік проведення ТО АБ 12СТ- 85Р та перейти від планово-попереджувальної системи ТО до проведення ТО за вимогою з контролем параметрів. В цьому випадку можна збільшити період та зменшити обсяг проведення певної кількості операцій при проведенні ТО АБ. **Висновки.** В якості перспективного напрямку розвитку експлуатації АБ можна вважати розробку акумуляторних треккерів – програмно-апаратних приладів, здатних здійснювати догляд за акумулятором та управління ним (*Battery care and battery management*). Правильний підбір АБ і зарядних пристроїв, кваліфікована експлуатація та своєчасний контроль залишкового ресурсу, є найголовнішим вимогою їх експлуатації. Тільки в цьому випадку, можливо, домогтися найбільшої економічної ефективності застосування АБ та продовження їх експлуатаційного ресурсу. Моніторинг технічного стану акумуляторних батарей за процедурою *Battery Care and Battery Management* надає можливість оптимізувати графік проведення ТО АБ 12СТ-85Р та перейти від планово-попереджувальної системи ТО до проведення ТО за вимогою з контролем параметрів. Таким чином можна збільшити період та зменшити обсяг проведення певної кількості операцій при проведенні ТО АБ.

Ключові слова: догляд за батареєю та управління батареєю, АБ-треккер, свинцево-кислотні акумулятори, обслуговування акумулятора 12СТ-85Р.

О. В. Рибак

Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАННЯ ПОКРИТТІВ

Анотація. При пошуку оптимальних параметрів обробки плазмових покриттів існуючі САПР призводять до значних відхилень через те, що не враховують зменшення втрат матеріалу у якості критерію оптимальності та не забезпечують умов бездефектної обробки поверхні. Таким чином, при розробці САПР ТП шліфування плазмових покриттів необхідно передбачити підсистеми аналізу характеристик проектного об'єкта, моделювання полів температур та напружень в процесі обробки, оптимізації параметрів шліфування та перевірки критеріїв міцності і руйнування при досягненні заданої шорсткості поверхні. У даній статті побудована структура такої САПР та наведено користувацький інтерфейс відповідного програмного комплексу. Для визначення оптимальних параметрів шліфування покриттів застосовується еволюційний пошук на множині допустимих розв'язків, сформованій на основі технічних характеристик шліфувального круга і верстата. Отримані результати у вигляді набору розв'язків задачі оптимізації, графіків та протоколу роботи алгоритму відображаються через інтерфейс користувача. Проведені експерименти підтвердили зростання продуктивності шліфування плазмових покриттів і зменшення кількості бракованих виробів при застосуванні параметрів обробки, визначених у представленій САПР.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, плазмові покриття, шліфування, програмний інтерфейс, алгоритм пошуку.

Вступ

Системи автоматизованого проектування є одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності технологічних процесів. Втім, спроби використання сучасних САПР для оптимізації процесу фінішної обробки деталей з плазмовим покриттям призводять до низки труднощів, пов'язаних з особливостями шліфувальних операцій для плазмових покриттів. Аналіз принципів роботи найпоширеніших САПР [1, 2] виявив, що математичний апарат, на якому ґрунтується їхнє програмне забезпечення, базується на методі скінченних елементів. Такий підхід спрощує техніку розрахунку, але спричинює суттєві похибки при проектуванні гетерогенних об'єктів, таких як плазмові покриття з композиційних матеріалів, що мають спадкові неоднорідності та різні властивості покриття і основи. Існуючі САПР процесу шліфування створювались на основі математичних моделей обробки деталей, що мають суцільну структуру, відтак, їхнє використання при шліфуванні деталей з плазмовим покриттям може призводити до значних відхилень. В процесі шліфування високі значення температур та напружень, що виникають в нанесеному шарі, можуть зумовити утворення поверхневих та структурних дефектів, таких як шліфувальні припалення та тріщини, фазові перетворення матеріалу покриття та відшаровування нанесеного шару від основи [3]. Таким чином, для визначення оптимальних параметрів шліфування плазмових покриттів необхідно створити систему автоматизованого проектування, що враховуватиме особливості структури нанесеного матеріалу, його пористість та включення інших фаз, а також виходитиме з критеріїв оптимальності, що були сформульовані у попередніх роботах [4, 5].

Метою статті є розробка структури системи автоматизованого проектування для вибору параметрів шліфування плазмових покриттів, її практич-

на реалізація та представлення відповідних інтерфейсів результатів проектування.

Основна частина

Робота системи автоматизованого проектування процесу шліфування плазмових покриттів спирається на результати оптимізації технологічних параметрів обробки нанесеного шару, а також моделювання температурного поля та напружено-деформованого стану деталей з покриттям, оскільки високі значення температур та напружень впливають на утворення поверхневих та структурних дефектів оброблюваної поверхні. Формулювання умов поставленої задачі вимагає визначення характеристик нанесеного шару покриття, що залежать від параметрів плазмового напилювання, вибору режиму використання змашувально-охолоджуючих рідин при шліфуванні, розрахунку міцності зчеплення покриття з основним матеріалом деталі тощо. Таким чином, програмний комплекс САПР шліфування плазмових покриттів включатиме підсистеми аналізу характеристик проектного об'єкта, моделювання полів температур та напружень в процесі обробки, оптимізації параметрів шліфування та перевірки критеріїв міцності і руйнування при досягненні заданої шорсткості поверхні. Послідовність задач, які повинна вирішувати розроблена САПР, наведена на рис. 1.

Моделювання температурного поля деталі з покриттям є окремою задачею, яка може вирішуватись як з метою оптимізації процесу шліфування, так і для перевірки умов бездефектної обробки поверхні. Крім того, слід передбачити окремий блок для визначення рекомендованих параметрів шліфувального круга, адже композиційні плазмові покриття можуть включати надтверді фази, що накладатиме особливі вимоги на абразивний матеріал при їхній обробці. Необхідна для розрахунків інформація щодо вибору шліфувального круга, властивостей

матеріалу покриття та технічних можливостей шліфувального верстата зберігатиметься у відповідних базах даних САПР ТП шліфування плазмових покриттів.

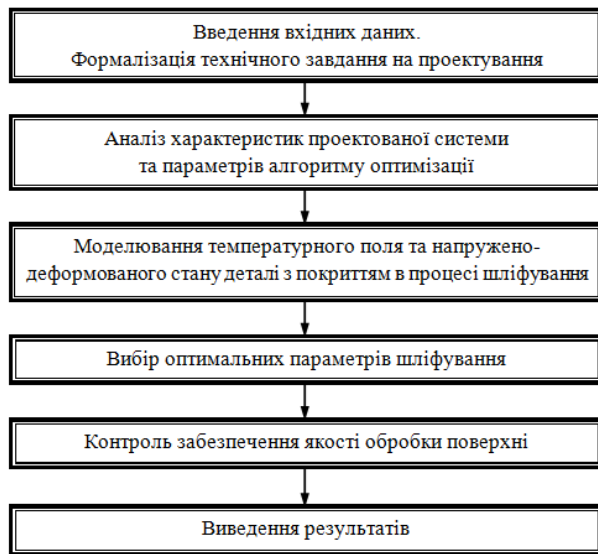


Рис. 1. Послідовність задач до виконання в межах розробленої САПР

Формування множини допустимих розв'язків задачі оптимізації шліфування плазмових покриттів відбувається на підставі аналізу технічних характе-

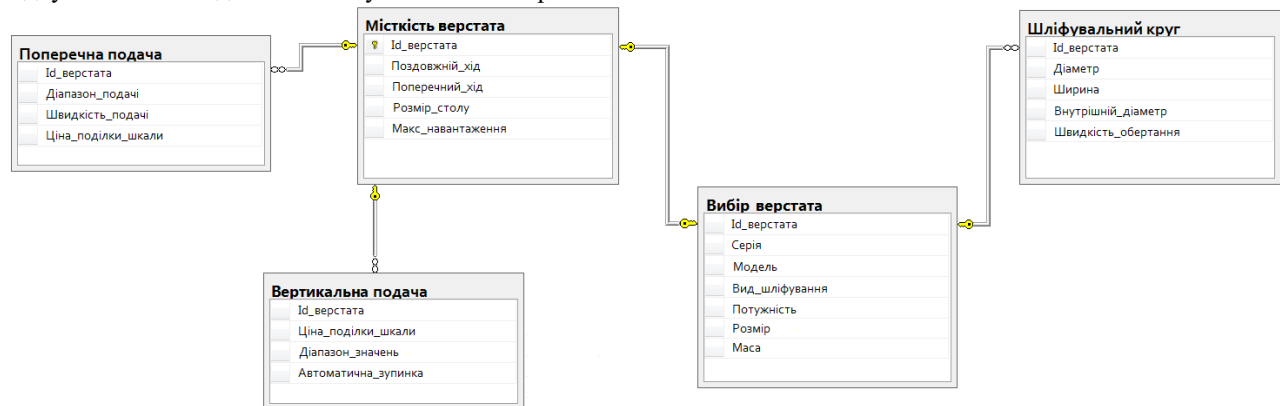


Рис. 2. Схема бази даних «Вибір шліфувального верстата»

При розробці структури САПР підсистему моделювання процесу шліфування плазмових покриттів, підсистему вибору оптимальних параметрів шліфування та підсистему контролю було об'єднано в програмному пакеті модулів, у межах кожного з яких передбачений аналіз необхідних для вирішення певної задачі характеристик. Отримані результати у вигляді набору розв'язків задачі оптимізації, графіків та протоколу роботи алгоритму відображаються через інтерфейс користувача. На рис. 4 наведена загальна структура розробленої САПР шліфування плазмових покриттів.

Підсистема вибору оптимальних параметрів процесу шліфування покриттів реалізована в межах розробленої САПР на основі модифікованого генетичного алгоритму, запропонованого у попередніх дослідженнях, присвячених даній проблематиці [6].

ристик шліфувального верстата. Максимальні та мінімальні значення швидкості обробки і глибини шліфування задають діапазон значень для вектору параметрів обробки, а ціна поділки шкали визначає дискретність цього діапазону для кожної із зазначених величин. Схема бази даних, яка містить інформацію про можливості шліфувальних верстатів щодо вибору параметрів режиму обробки, представлена на рис. 2.

Після задання вхідних даних, частина з яких вводиться вручну, частина – шляхом вибору відповідного варіанту зі списку значень, що містяться у базі даних, відбувається аналіз характеристик проєктованої системи: встановлюються граничні умови для задачі термонапруженості, проводяться розрахунки величин, необхідних при моделюванні, оптимізації та контролі якості обробки поверхні. Моделювання температурного та деформаційного полів залежить від параметрів шліфування, які змінюються в процесі еволюційного пошуку, а система обмежень для забезпечення якості обробки вимагає постійної перевірки та корекції отриманих результатів. На рис. 3 представлений взаємозв'язок між окремими модулями, які слід передбачити в САПР ТП шліфування плазмових покриттів.

За допомогою розробленого програмного комплексу можна визначити рекомендовані характеристики шліфувального круга, здійснити моделювання процесу обробки, знайти оптимальні параметри шліфування, ознайомитися з інструкціями щодо функціонування представленої САПР у розділі «Довідка», створити та зберегти протокол роботи модифікованого генетичного алгоритму.

Вікно підсистеми вибору оптимальних параметрів шліфування містить вкладки постановки задачі, представлення ходу розв'язку та графічного зображення результатів оптимізації. Введення вхідних даних для задачі оптимізації включає задання параметрів режиму напилювання та матеріалу плазмового покриття, вибору розмірів та характеристик шліфувального круга, які можуть завантажуватись з модулю рекомендованих параметрів, визначення

виду шліфувального верстата та режиму охолодження. Необхідно також вказати значення шорсткості готової деталі після її обробки і параметри модифікованого генетичного алгоритму оптимізації. Вікно введення вхідних даних задачі вибору опти-

мальних параметрів технологічного процесу при шліфуванні деталей з плазмовим покриттям наведено на рис. 5. Результати еволюційного пошуку оптимальних параметрів обробки викладені у вікні представлення ходу розв'язку задачі (рис. 6).



Рис. 3. Схема взаємозв'язків між модулями в САПР ТП шліфування плазмових покриттів

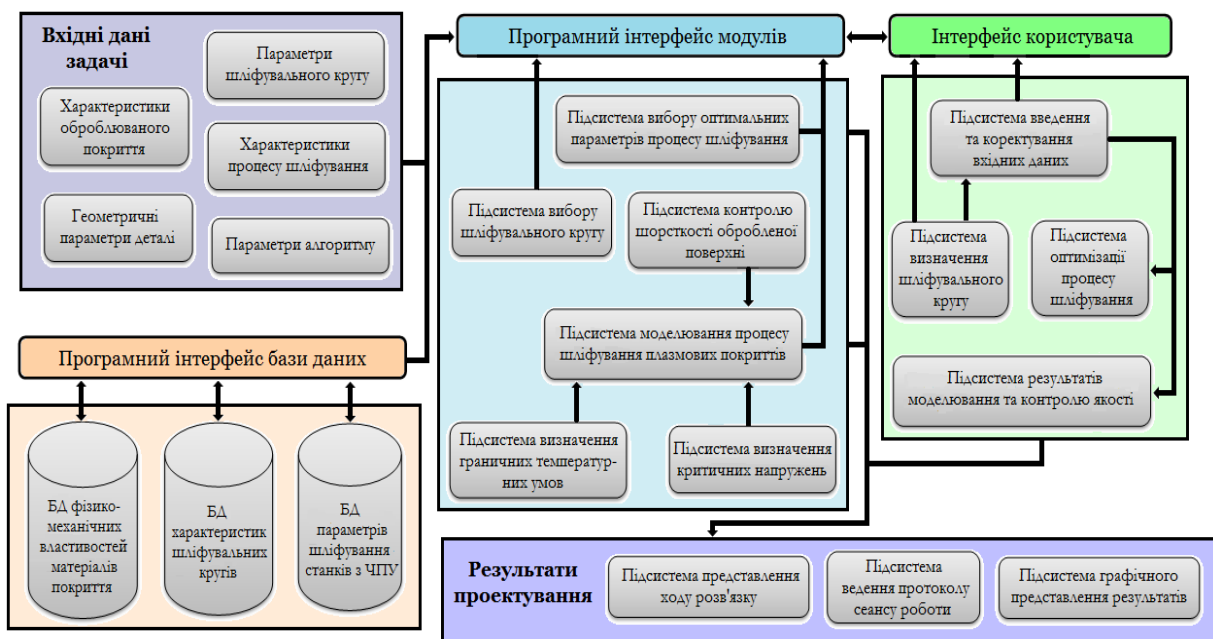


Рис. 4. Структура САПР шліфування плазмових покриттів

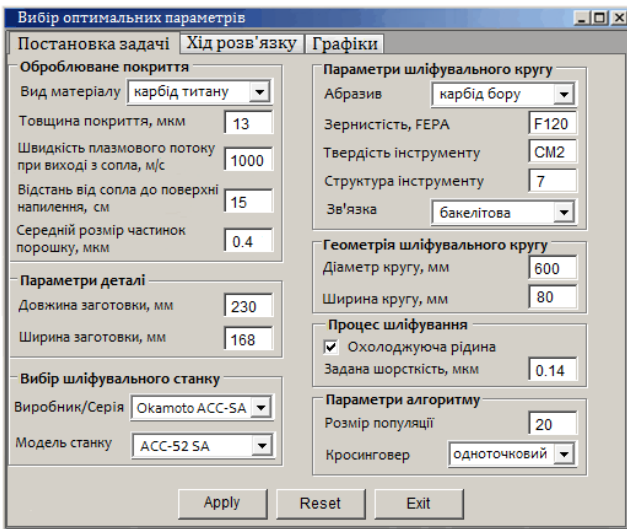


Рис. 5. Вікно введення початкових даних для пошуку оптимальних параметрів шліфування

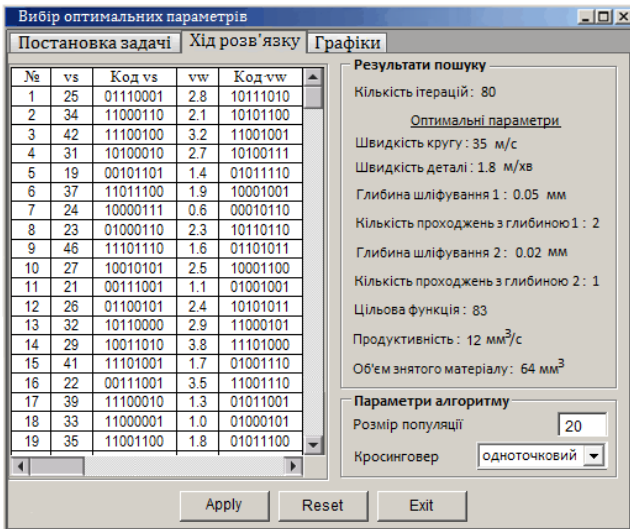


Рис. 6. Вікно представлення ходу розв'язку

Покроковий процес роботи алгоритму дозволяє проаналізувати динаміку зростання функції пристосованості для кожної наступної популяції. Значення змінних параметрів викладені разом з їхнім генотипом, отриманим шляхом бінарного кодування. З огляду на те, що оптимізація проводиться для комплексного критерію, поряд з результуючою цільовою функцією також вказані продуктивність та об'єм знятого матеріалу, що залежить від припуску на шліфування.

Проаналізувати графік зростання значення найбільшої пристосованості для кожної популяції при переході від однієї ітерації алгоритму до іншої дозволяє вікно графічного зображення результатів оптимізації (рис. 7).

На графіку представлена залежність комплексного критерію оптимальності від номеру популяції в процесі еволюційного пошуку. Поряд наведено точні значення максимальної функції пристосованості для кожної ітерації ходу розв'язку задачі. Зберегти результати роботи модифікованого генетичного алгоритму можна, створивши відповідний протокол (рис. 8).

Рис. 7. Вікно графічного зображення результатів оптимізації

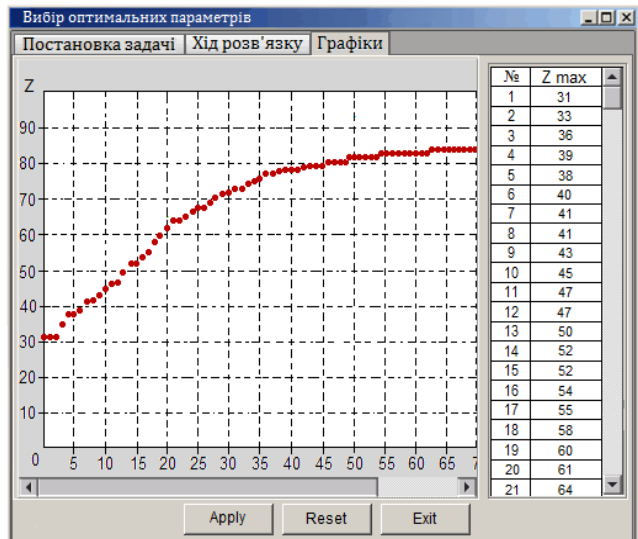


Рис. 7. Вікно графічного зображення результатів оптимізації

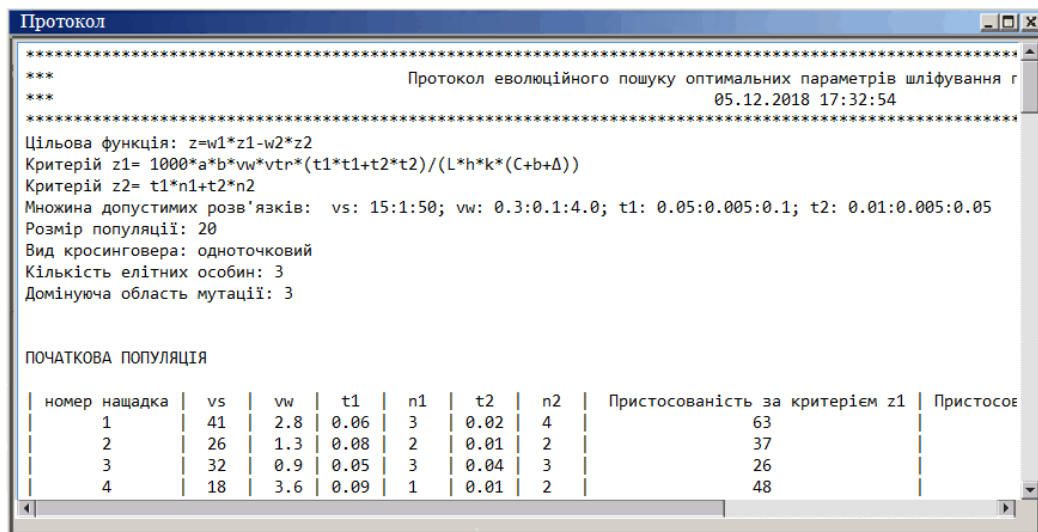


Рис. 8. Протокол роботи модифікованого генетичного алгоритму

Протокол еволюційного пошуку оптимальних параметрів шліфування при обробці плазмових покриттів містить значення змінних технологічних параметрів, що формують особини популяції, їхню пристосованість за частковими критеріями та комплексним критерієм оптимальності. Також вказано діапазон допустимих розв'язків для змінних параметрів та основні характеристики оптимізаційного процесу. З наведених результатів можна зробити висновок, що загальний розв'язок представленої задачі є компромісним значенням для кожного з часткових критеріїв оптимальності.

Продуктивність процесу обробки плазмових покриттів при виборі оптимальних параметрів шліфування, визначених за допомогою розробленої САПР, порівнювалась із розрахунковими результатами продуктивності, отриманими для типових параметрів режиму обробки.

Проведені експерименти підтвердили зростання продуктивності шліфування плазмових покриттів при застосуванні параметрів обробки, визначених у представленій САПР у порівнянні з типовою продуктивністю розглянутого технологічного процесу. Випробування також дозволили зменшити кількість деталей зі шліфувальними дефектами при обробці плазмових покриттів.

Висновки

На основі математичної моделі термомеханічного стану, умов бездефектної обробки та модифікованого методу еволюційного пошуку розроблено САПР технологічного процесу шліфування плазмових покриттів, що складається з:

блоку задання вхідних даних, інформаційної підсистеми, підсистем аналізу, моделювання, оптимізації та контролю параметрів режиму шліфування.

Випробування створеної САПР проводилося для визначення параметрів режиму обробки плазмових покриттів на основі композиційних матеріалів з надтвердою фазою, для яких вдалося зменшити число поверхневих та структурних дефектів та визначити оптимальні параметри шліфування.

Отримано розв'язок задачі оптимізації для різних значень вхідних даних, процес еволюційного пошуку проаналізовано завдяки графічному зображенню результатів оптимізації та покроковому представленню ходу розв'язку.

Дослідження розробленої системи САПР при шліфуванні деталей дозволяє знизити кількість бракованих виробів при збільшенні продуктивності технологічного процесу обробки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазарева Д.В. Математичні моделі та чисельно-аналітичні методи аналізу в САПР складних асиметричних технічних систем: дис. канд. техн. наук. Одеса: ОНПУ. – 2015. – 192 с.
2. Бажанова А.Ю. Моделі та методи аналізу пружно-дисипативних систем в САПР: дис. канд. техн. наук. Одеса: ОНПУ. – 2015. – 147 с.
3. Usov A.V., Tonkonogiy V.M., Dašić P.V., Rybak O.V. Modelling of Temperature Field and Stress–Strain State of the Workpiece with Plasma Coatings during Surface Grinding // *Machines*. MDPI, Basel, Switzerland. – 2019. – Vol. 7, Is. 1. – 15 p.
4. Тонконогий В.М., Рибак О.В. Вибір параметрів шліфування плазмових покриттів при багатокритеріальній оптимізації технологічного процесу // *Сучасні технології в машинобудуванні*. Харків: НТУ "ХПІ". – 2018. – Вип. 13. – С. 60-68.
5. Рибак О.В. Математичне моделювання, аналіз та оптимізація в САПР технологічного процесу шліфування плазмових покриттів: дис. канд. техн. наук. Одеса: ОНПУ, 2019. – 162 с.
6. Tonkonogiy V., Dašić P., Rybak O., Lysenko T. Application of the Modified Genetic Algorithm for Optimization of Plasma Coatings Grinding Process // Springer Nature Switzerland AG 2020. I. Karabegović (Ed.): NT 2019, Lecture Notes in Networks and Systems, 76. – P. 199–211.

Received (Надійшла) 27.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

Computer-aided design system for determining optimal parameters of the coatings grinding

O. Rybak

Abstract. While searching for optimal parameters of plasma coatings grinding, available CAD systems produce significant deviations due to the fact that they neither take into account reducing losses of the material as an optimality criterion nor meet the conditions of zero-defect surface processing. Therefore the developed plasma coatings grinding CAD system should include modules of the designed object characteristics analysis, temperature fields and stresses modelling, grinding parameters optimization and checkup strength and fracture criteria when the required surface roughness is reached. In this paper the structure of such a CAD system is built and the user interface of the according programming appliance is presented. In order to determine optimal parameters for the coatings grinding process, an evolutionary search is carried out on a set of feasible solutions formed on the basis of the features of plasma coatings materials and technical characteristics of the grinding wheel and the grinding machine. Obtained results consisting sets of optimization problem solutions, plots and the algorithm performance protocol are displayed through the user interface. Practical experiments that were carried out during this research confirm an increased productivity of the plasma coatings grinding process and reduced number of defective parts when applying grinding parameters determined in the designed CAD system.

Keywords: computer-aided design system, plasma coatings, grinding, programming interface, search algorithm.

С. І. Шаповалова, О. М. Бараніченко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Анотація. Предметом дослідження в статті є засоби реалізації автоматичної системи підтримки прийняття рішень. Мета роботи – представлення рішення з програмно-апаратної реалізації автоматичної підтримки прийняття рішень в системах електропостачання. В статті вирішуються наступні завдання: визначення вимог до реалізації автоматичної підтримки прийняття рішень системи електропостачання; визначення рішень, які мають прийматися при збої електропостачання; визначення апаратної частини систем електроживлення; визначення спеціалізованого програмного забезпечення підтримки прийняття рішень в цих системах. Отримано наступні результати: надано рішення з програмно-апаратної реалізації автоматичної підтримки прийняття рішень з електропостачання для центру обробки даних, як типового об'єкту, що потребує безперебійного електроживлення. Висновки: визначено основні критерії, яким мають відповідати системи електроживлення, що потребують автоматичного прийняття рішень для запобігання їх збоїв; представлені рішення, які мають прийматися при збої електропостачання в центрах обробки даних; запропоновано архітектурне рішення системи електроживлення з вбудованою автоматизованою системою підтримки прийняття рішень; визначено програмне забезпечення прийняття рішень для систем електроживлення. Перспективним напрямком подальших досліджень є вдосконалення інтелектуальних методів прийняття рішень.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, система електропостачання

Вступ

Постановка проблеми. Прийняття рішень є однією з базових задач сучасних промислових комплексів. До таких комплексів, наприклад, можна віднести великі виробництва, медичні заклади, воєнні об'єкти, центри обробки даних. Простий виробничого конвеєру через відсутність рішення в надзвичайній ситуації може обійтись виробництву в тисячі доларів та відстрочити випуск продукції, відсутність рішення при збої медичного обладнання може призвести до людських втрат, а затримка у прийнятті рішення чи прийняття неправильного рішення військовою одиницею може вплинути на безпеку цілої країни.

Сучасні промислові комплекси є настільки складними, що необхідна реалізація автоматизованих систем підтримки прийняття рішень (АСППР). Найбільш важливими дані системи є на об'єктах, де необхідно обробити велику кількість даних за обмежений час та з високим рівнем точності. Однак відсутність єдиних стандартів, правил, методів та алгоритмів побудови таких систем призводить до нераціонального використання ресурсів під час їх створення, а отримані програмно-апаратні рішення часто мають ряд недоліків від незручності користування до надання цілком хибних висновків та рішень.

Саме тому, задача розробки парадигм АСППР як для простих об'єктів, в яких рішення приймаються лише в межах одного простого процесу, так і для комплексних, в яких велика кількість систем постійно взаємодіють між собою та впливають одна на іншу, є актуальною та має практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток автоматизованих систем підтримки прийняття рішень пов'язаний з технічним прогресом в області обчислювальної техніки. Перші роботи у даній сфері фактично були пов'язані не зі створенням особливих систем, а насамперед з автоматизацією ручної праці

людини. Це здебільшого було пов'язано з неможливістю реалізації складних алгоритмів на обчислювальних потужностях того часу. Однак вже на той час почали закладатись основи побудови систем прийняття рішень, багато з яких продовжують використовуватись і сьогодні. Так, наприклад, у роботі [1] автори описують рівень розвитку галузі розробки систем підтримки прийняття рішень. Вже на той час такі не були поодинокими та відокремленими, а мали системний характер. Більш того, з 1985 року було започатковано тематичний журнал "Decision Support System", де публікувались найбільш революційні ідеї того часу. У роботі [1] виокремлено в АСППР три складові процеси: прийняття рішень, представлення знань та побудова людино-машинних схем. Окрім цього було представлено концептуальні моделі систем АСППР, та вказано на проблеми їх реалізації на електронних обчислювальних машинах того часу.

За 35 років прогрес не лише збільшив обчислювальні потужності нинішнього апаратного забезпечення, але й ускладнив задачі та збільшив вимоги до АСППР. Так, у роботі [2] представлено задачу прийняття рішень та вибору альтернатив для складних технічних систем (СТС). На відміну від теорії, викладеної в роботі [1], в статті [2] запропоновано підхід розробки АСППР одночасно з загальною СТС. При цьому АСППР проходить всі етапи життєвого циклу СТС. На відміну від попередньої роботи, автори розглядають комплексну систему не як єдине ціле, а як ієрархію типу "Система - підсистема - елемент". При цьому на кожному рівні розробляється власна модель, яка відповідає за прийняття рішення на власному і нижчих рівнях. Автори зробили великий внесок саме в проектній послідовності розробки АСППР у розрізі СТС, однак задача розробки конкретних правил, методів та алгоритмів залишилась не розв'язаною. Це, швидше за все, пов'язано зі складністю універсальної реалізації АСППР для різних вузькоспеціалізованих СТС.

Прикладом вузькоспеціалізованої СТС є підприємства оборонно-промислового комплексу. АСППР для даних об'єктів було представлено у роботі [3]. Перш за все, автори навели теоретичні критерії, за якими, фактично, задаються базові принципи побудови АСППР. До них відноситься, наприклад, міра Харкевича, що описує цінність інформації, чи міра інформативності по тезаурусу, що показує відношення цінності та оптимальної інформативності інформації. При розробці АСППР необхідно, щоб математична модель СТС була максимально простою. Однак використання невеликої кількості критеріїв дозволяє лише отримати початкове уявлення про розмір та структуру АСППР. Цього недостатньо для побудови АСППР для СТС. У роботі [3] також було доведено неможливість реалізації єдиного людино-машинного інтерфейсу АСППР сучасних СТС для всіх спеціалістів-користувачів. Так, наприклад, система умовно поділяється на компоненти АСППР для керівника, органу керування, оперативного чергового, оператора. В залежності від специфіки конкретного об'єкту перелік ролей може змінюватись. При цьому необхідно надавати за кожною роллю різні системні можливості. Реалізація такого підходу дозволяє виконати ієрархію АСППР, наведену у статті [2]. Окрім цього автори [3] навели короткий опис рішень побудови прикладною АСППР. Однак не всі запропоновані методи можна застосовувати в системах реального часу.

Актуальність задачі прийняття рішень доводять сучасні дослідження, які спрямовані на підвищення частки коректних рішень в умовах невизначеності [4], дослідження інтелектуальних алгоритмів обробки інформації [5, 6, 7] та практичну реалізацію цих методів в прикладних системах [8- 10]. Кожна прикладна АСППР потребує попередніх досліджень з визначення оптимальних за обчислювальними ресурсами методів та засобів прийняття рішень. Тому доцільно розробити рішення з програмно-апаратної реалізації АСППР типових промислових комплексів.

Постановка завдання. Метою статті є представлення рішення з програмно-апаратної реалізації автоматичної підтримки прийняття рішень в системах електропостачання. Поставлені такі завдання:

1. Визначення вимог до реалізації АСППР.
2. Визначення рішень, які мають прийматися при збої електропостачання.
3. Визначення апаратної частини систем електроживлення.
4. Визначення програмного забезпечення АСППР систем електроживлення.

Задача реалізації АСППР

Для побудови ефективних та коректних АСППР необхідно розв'язувати такі задачі:

1. Побудова архітектури програмно-апаратних комплексів з концептуальною можливістю інтеграції з АСППР.
2. Розробка АСППР, яка містить:
 - 1) систему прийняття та збереження даних;
 - 2) систему обробки даних з використанням алгоритмів математичної логіки та/або інтелектуальних алгоритмів;

- 3) розробку інтерфейсів користувачів;

Створення АСППР - це складний процес, який потребує фінансових, трудових та часових витрат. Його доцільно використовувати лише на складних об'єктах, які надалі будуть називатись комплексними функціональними об'єктами - КФО. Комплексний функціональний об'єкт - це об'єкт, де одночасно функціонують декілька систем різного призначення для досягнення єдиної мети. При цьому функціонування кожної системи так чи інакше впливає на інші, тому збій у роботі однієї може викликати ланцюгову реакцію, що призведе до зупинки чи виходу з ладу інших систем. Прикладом такого об'єкту можна вважати центри обробки даних (ЦОД), типова архітектура яких приведена на рис. 1.

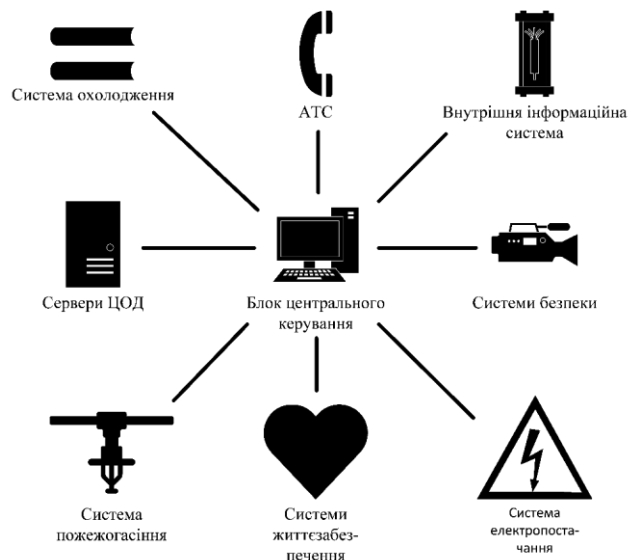


Рис. 1. Типова архітектура ЦОД

Для побудови єдиної АСППР КФО доцільно використовувати ієрархію, за якої кожна підсистема комплексу буде відповідати таким критеріям:

1. Повна відповідність функціональним вимогам системи. Наприклад, система електропостачання повинна мати потужність, яка буде достатньою для живлення всіх електроприймачів всієї системи. Відповідно до пунктів 1.2.17 - 1.2.20 Правил Улаштування Електроустановок [11], в залежності від категорії надійності електроприймачів, схема електропостачання може мати декілька незалежних джерел живлення, перемикання яких необхідно здійснювати за мінімально короткий час, що по можливості не буде змінювати режим роботи обладнання споживачів. Інші проектні рішення, що відносяться до інших частин системи електропостачання та інших систем КФО, повинні аналогічним чином базуватись на нормативних документах.

2. Кожна підсистема КФО повинна забезпечувати режим автономної роботи обладнання на випадок неможливості керування централізованою та/або локальними системами.

3. Зв'язок підсистем КФО повинен відповідати критеріям захищеності, надійності, відмовостійкості. Наприклад, у випадку, коли прокладання лінії зв'язку можливе лише поруч з силовими лініями, її потрібно

виконувати в фізично-захисних каналах оптичними або екранованими кабелями.

Створення нової системи чи модернізація існуючої дозволяє налаштувати АСППР, яка повинна відповідати таким критеріям:

1. *Критерій повної інформованості*: кожен логічний вузол повинен надавати системі інформацію про свій стан в режимі реального часу або по розкладу. Система зберігає дану інформацію та використовує за необхідності.

2. *Критерій надійності та коректності даних*: отримані дані повинні включати дані для перевірки їх коректності. Так, наприклад, контакти простого кінцевого вимикача, який має одну пару контактних груп, можуть прикіпнути, а тому після його спрацювання сигнал не зміниться. Відповідно, дані не будуть коректними, і прийняття рішення щодо виконання якоїсь дії буде помилковим та призведе до непередбачуваних наслідків.

3. *Критерій коректності побудови людино-машинної взаємодії*: побудова інтерфейсів повинна відбуватись відповідно до загальноприйнятих правил та норм сприйняття інформації користувачем. Так, за законом Міллера короткочасна людська пам'ять може одночасно тримати в середньому 7 об'єктів. За статистичними даними досліджень людської уваги визначено, що людина одночасно може зосередитись не більш як на 5 об'єктах. Таким чином, є природні обмеження на групування та розмежування даних в сценаріях інтерфейсу. В багатьох системах доцільно використовувати прості елементи керування та сповіщення, такі як мнемосхеми. Іншим прикладом принципів побудови інтерфейсів може бути модель Кано, яка дозволяє оцінити емоційну реакцію користувача на представлення потоку інформації.

4. *Критерій пріоритетності*: якщо обробка отриманих даних може призвести лише до єдиної можливої дії - система автоматично її виконує, до ряду дій - система повинна спершу запропонувати користувачеві найбільш оптимальну з дій.

Прийняття рішень під час збою електропостачання

Розглянемо аварійну ситуацію для вищенаведеного теоретичного ЦОД, під час якої зникає електроживлення системи основного електропостачання. Оскільки основною задачею будь-якого ЦОД є підтримання працездатності у режимі 24/7, стандартним є виконання таких дій:

1. Перевести обладнання найбільш критичної інфраструктури об'єкту на резервні джерела живлення. До такого обладнання відносяться обчислювальні сервери, системи безпеки, аварійні системи життєзабезпечення. Цими діями забезпечується продовження функціонування системи.

2. Виконати першочергову перевірку всіх систем. При цьому виконується виявлення основної причини

аварії. Однак існують випадки, коли дана причина є лише наслідком іншого аварійного процесу. Так, наприклад, відсутність електроживлення може бути пов'язана не лише з проблемами його постачання на об'єкт, але й з несправністю обладнання самого об'єкту, яке, в свою чергу, може бути викликане як внутрішніми проблемами у компонентах електроприладдя, так і зовнішніми аваріями, такими як пожежа, затоплення, диверсія, тощо.

3. Після з'ясування причин відсутності електроживлення приймаються подальші рішення, які, наприклад, можуть бути пов'язані з:

1) відсутністю зовнішнього постачання електроенергії. При цьому в залежності від причин приймаються рішення щодо вводу резервів чи очікування відновлення електропостачання;

2) повним ремонтом всіх пошкоджених систем, якщо аварія є локальною;

3) частковим ремонтом систем, якщо аварія є глобальною з неможливістю її усунення за час функціонування систем на резервних джерелах живлення;

4) перенесення та збереження даних на резервних серверних потужностях, якщо усунути аварію не вдається.

Очевидно, що усунення причин і наслідків поточної аварії потребує значної кількості часу. При цьому резервне живлення системи може тривати не більше 20 хвилин. Тому необхідне застосування АСППР з високим рівнем надійності та точності. Лише такий підхід дозволить повернути працездатність системи за мінімальний час, з мінімальними виробничими втратами.

Апаратна частина системи електроживлення

Для прикладу розглянемо варіант АСППР для простої системи електропостачання, схема якої наведена на рис. 2.

Для АСППР необхідне встановлення таких польових пристроїв:

1. Контакти стану OF/SD/E/SDV NS80/630 [17] для контролю стану ввідних автоматичних вимикачів.

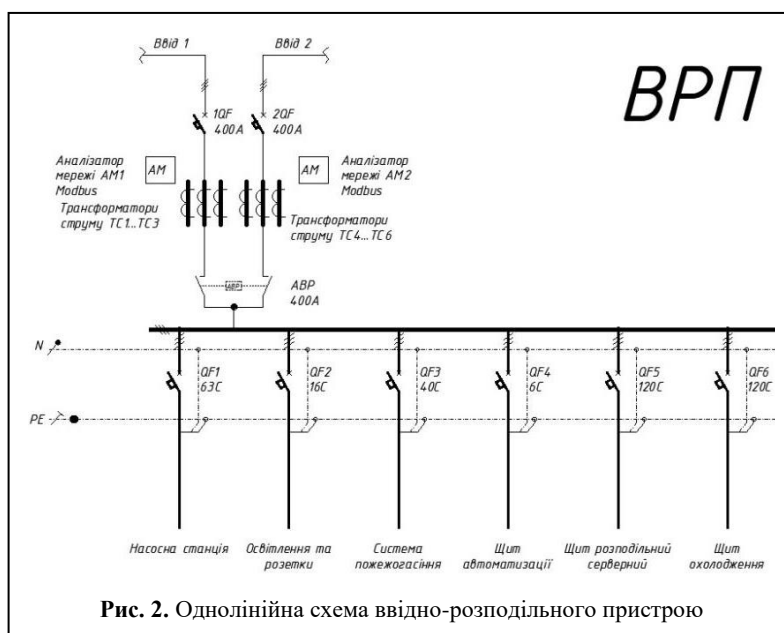


Рис. 2. Однолінійна схема ввідно-розподільного пристрою

2. Контакти стану IOF A9A26924 [18] для вихідних автоматичних вимикачів.

3. Кінцеві вимикачі дверей ВРП для безпеки обслуговуючого персоналу.

Рівень базової автоматизації у даному випадку повинен виконувати контролер, який буде обробляти всі контакти стану автоматичних вимикачів. Окрім цього, АВР та АМ реалізують стандартизований протокол Modbus [19], які дозволяють виконувати їх контроль та управління ними. Суть його полягає у наявності ведучого пристрою-контролеру (Master), який має можливість читати та записувати інформацію у ряді клієнтських пристроїв (Slave). Для реалізації даного рішення необхідно, щоб контролер рівня базової автоматизації мав можливість працювати у режимі Modbus Master. Для реалізації поставленої задачі доцільно використати керуючий контролер Modicon M241, 24 IO relay Ethernet [20]. Цей контролер дозволяє підключати до 24 контактів входу та виходу, 8 modbus slave пристроїв та має додатковий функціонал, що у перспективі дозволить за необхідності масштабувати систему.

Система живиться від двох незалежних ввідних ліній. Для розподілу електроенергії використовується ВРП – ввідно-розподільний пристрій. На вході ліній встановлено два автоматичні вимикачі на 400А - 1QF та 2QF. Наступним елементом в схемі є блок трансформаторів ТС1-ТС6, які в свою чергу забезпечують роботу систем аналізу мереж (АМ): АМ1 та АМ2. Для автоматичного переключення між вводами використовується автоматичний ввід резерву (АВР). Після нього електроенергія розподіляється споживачам через ряд автоматичних вимикачів.

АСППР є компонентом більш комплексної системи - автоматизації та диспетчеризації. На сьогоднішній день існує стандартний підхід до реалізації цих систем, який базується на розбитті їх на 3 рівні:

1. Рівень польових пристроїв, до яких можна віднести електромеханічні (вимикачі, приводи, тощо), електрогідравлічні (насоси, гідроклапани, тощо), електрохімічні (датчики забруднення) та інші пристрої.

2. Середній рівень (рівень базової автоматизації), який виконується на керуючих контролерах, що обробляють ряд польових пристроїв.

3. Верхній рівень, який виконується на серверах, та пов'язує всі керуючі контролери в єдину систему.

Початковим етапом створення АСППР є коректний підбір польових пристроїв. На сьогоднішній день існує велика кількість виробників електрообладнання, однак одним з найбільш популярних є Schneider Electric (SE) - французький виробник обладнання та рішень для енергетичних систем.

Для реалізації електричної частини ВРП у SE наявні такі електричні рішення:

1. Ввідні автоматичні вимикачі: 3P3D MICROL 2.3 400A NSX400N [12].

2. Трансформатори струму: Трансформатор струму 400/5 А [13].

3. Аналізатори мережі : PM5110 RS-485 [14].

4. Пристрій автоматичного вводу резерву: ASCO SERIES 230 Automatic Transfer Switch 400A [15].

5. Вихідні автоматичні вимикачі: Acti 9 : iC60 [16].
Архітектура апаратного забезпечення АСППР для системи електроживлення наведено на рис. 3.

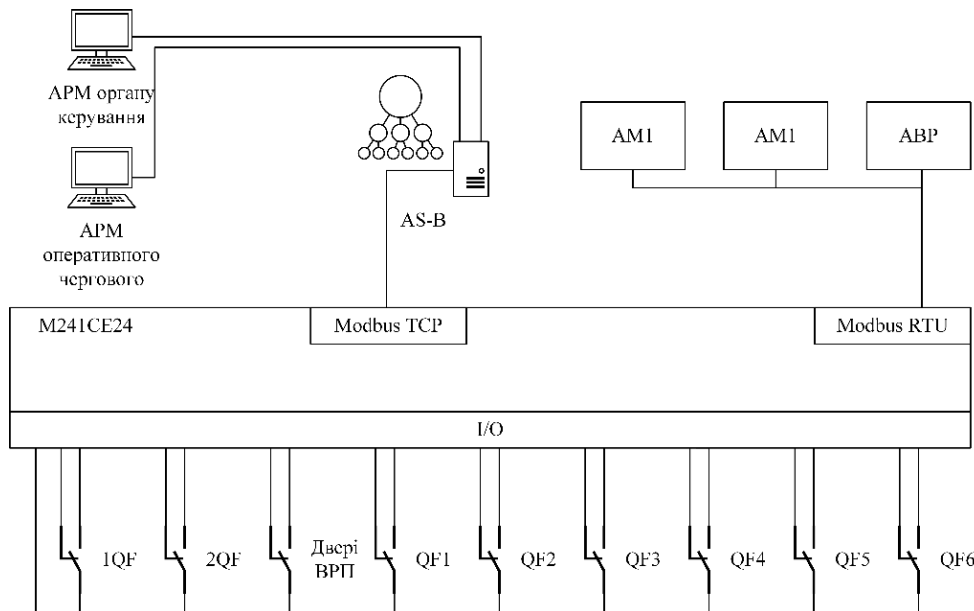


Рис. 3. Архітектура АСППР для системи електроживлення

Для верхнього рівня АСППР необхідно використання промислового серверу. SE пропонує до використання сервери Automation Server базового (AS-B) та преміального (AS-P) рівня [21].

Для даної задачі достатньо обчислювальних потужностей серверу AS-P, однак у випадках реалізації

реальних комплексних систем більш доцільно використовувати сервери AS-P. Інтерфейси користувачів реалізуються на автоматизованих робочих місцях (АРМ). В даному випадку АРМ повинні бути передбачити для органу керування та оперативного чергового.

Програмне забезпечення АСППР систем електроживлення

Програмне забезпечення АСППР для даного випадку має три складові.

Першою складовою є ПЗ середнього рівня автоматизації для керуючого контролеру. Програмування контролеру, який використовується у даній роботі, виконується у середовищі інтегрованої розробки Ecostruxure Machine Expert. Воно підтримує програмування на мовах FBD, IL, ST. На сьогоднішній день, FBD є частково застарілою та використовується лише при налаштуванні простих систем. Використання IL надає більш зручний та потужний функціонал, однак низький рівень даної мови робить її використання складним та недоцільним у багатьох прикладних задачах. ST є найбільш зручною та надає програмісту найбільше функціональних можливостей. Основною логічною одиницею інформації в даній системі програмування є функціональний блок, який концептуально аналогічний «Компоненту» у компонентно-орієнтованому програмуванні. Саме у вигляді функціональних блоків необхідно прописувати не лише польові пристрої, але й інші логічні блоки інформації. На середньому рівні система вирішує завдання отримання даних з польових пристроїв, виконує їх початковий аналіз, прийняття рішень при відсутності зв'язку з верхнім рівнем, логування даних та їх підготовка до передачі на верхній рівень. Модуль отримання даних повинен забезпечувати перевірку даних на коректність та надавати їх на подальшу обробку у стандартизованому вигляді. Після опису логічної структури та отримання за нею фізичних даних, вони потрапляють на основний модуль програмного забезпечення (ПЗ) керуючого контролеру: модуль математично-логічної обробки даних. Він відповідає за обробку даних для передачі їх на вищий рівень автоматизації та виконує прості операції з польовими пристроями за допомогою математично-логічних алгоритмів. Прикладом такого алгоритму може бути широко популярний на сьогоднішній день в даній сфері кінцевий автомат. Він реалізує математичну абстракцію, за якою має один вхід та вихід і кінцеву кількість внутрішніх станів. Наприклад, для кінцевого вимикача з одною парою контактів можливі два фізичні стани (замкнено та розімкнено) та, за необхідності програмної реалізації, кінцева кількість логічних станів (цикл «замкнено-розімкнено» пройшов один раз, двічі з інтервалом не більш як 1 секунда, тощо). На виході з модулю дані логуються та готуються для прийому пристроями вищих рівнів. Для даного рівня відсутня необхідність подальшого інтелектуального аналізу даних, оскільки він виконується на вищих рівнях.

Програмне забезпечення АСППР вищого рівня реалізується на сервері AS-B. Для його програмування використовується програмне забезпечення Schneider EcoStruxure Building Operation, в якому реалізовано підхід до автоматизації будівель на основі технології «Інтернет речей» (IoT).

Програмне середовище розробки складається з двох основних частин:

1. Workstation, яка надає інтерфейси користувачів різних ролей: від розробника до оператора та дозволяє налаштовувати, програмувати та використовувати сервери автоматизації.

2. Enterprise server, яка є обчислювальним ядром локального об'єкту та дозволяє підключати до себе ряд серверів AS-P/AS-B, налаштовувати їх та програмувати як єдине ціле.

Для програмування AS-B використовується спеціальна скриптова мова сценаріїв. Вона дозволяє реалізувати широкий спектр алгоритмів та конфігурувати обладнання. Її недоліком є функціональна обмеженість, яка часто ускладнює роботу програміста. Для створення сценаріїв використовується інша скриптова мова TGML, основні вид та принципи якої на сьогоднішній день є популярними і в інших засобах розробки інтерфейсів, наприклад .Net WPF. Вона дозволяє робити зручні та надійні програмні інтерфейси, однак аналогічно до скриптів AS-B, є функціонально обмеженою.

Компонент АСППР вищого рівня в моделі, що пропонується, виконує функції, пов'язані з прийняттям даних від контролеру середнього рівня, їх математично-логічною та інтелектуальною обробкою, логуванням та наданням необхідних даних користувачам через відповідні інтерфейси. Основне ядро рівня складають модулі математично-логічної та інтелектуальної обробки даних.

Перший з них дублює функції відповідних модулів середнього рівня, однак вже в масштабах комплексної системи. Фактично, він реалізує експертну систему. Даний модуль є базовим при прийнятті рішень АСППР. Однак для розв'язання деяких задач недостатньо логічного виведення на основі правил. Наприклад, типовою проблемою електричних ліній є непостійність напруги. Так, в години пікового навантаження на електромережі напруга може змінювати свою величину, виходячи за рамки допустимого для роботи обладнання рівня.

Для виявлення закономірностей цього процесу використовується модуль інтелектуальної обробки інформації, який під час навчання здатен продукувати нові правила для експертної системи модулю математично-логічної обробки даних. В даній системі для його реалізації було використано нейронні мережі.

Висновки

1. Визначено основні критерії, яким мають відповідати системи електроживлення, що потребують автоматичного прийняття рішень для запобігання їх збоїв.

2. Представлено рішення, які мають прийматися при збої електропостачання в центрах обробки даних.

3. Запропоновано архітектурне рішення системи електроживлення з вбудованою АСППР.

4. Визначено програмне забезпечення АСППР систем електроживлення.

Перспективним напрямком подальших досліджень є вдосконалення інтелектуальних методів прийняття рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ларичев О. И. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы развития / О. И. Ларичев, А. Б. Петровский // Итоги науки. Техническая кибернетика. – Москва: ВИНТИ, 1987. – С. 131–164.
2. Семенов С.С. Процесс принятия решений при создании сложных технических систем и задача выбора альтернатив / С.С. Семенов, А.В. Полтавский, В.В. Маклаков. // Надежность. – 2014 – С. 122-138.
3. Кохно П.А. Современный уровень автоматизации систем принятия решений предприятиями оборонно-промышленного комплекса / П.А. Кохно, Т.В. Прокопова // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России, 2017, № 1. – С. 40–53
4. Борщевский И. Е. Структуризация иерархических систем принятия решений в автоматизированных системах управления в условиях неопределённости / И. Е. Борщевский, В. О. Драчев, В. В. Карганов. // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». Санкт-Петербург. – 2021. – С. 24–28.
5. Интеллектуальные алгоритмы в системе ситуационного центра для обеспечения комплексной безопасности / [В. С. Симаков, В. А. Петрова, Л. И. Салыхова та ін.]. // Кубанский государственный технологический университет. – 2021. – С. 36–41.
6. Бошляков А. А. Анализ алгоритмов для системы принятия решений / А. А. Бошляков, Г. А. Поярков. // Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия. – 2020. – №4(40). – 32 с.
7. Валисьев Е. М. Активная нейросетевая модель управления критическими объектами / Е. М. Валисьев, Р. А. Говоров. // ВГТУ. – 2015. – №3. – С. 31–36.
8. Гылка А. В. Система поддержки принятия решений по реконфигурации дорожного движения / Андрей Васильевич Гылка. // ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г.Севастополь. – 2019. – С. 252–255.
9. Поваров В. П. Принципы разработки систем принятия решений в задачах управления ядерными блоками / Владимир Петрович Поваров. // Вестник воронежского государственного технического университета. – 2018. – №2. – С. 87–91.
10. Поваров В. П. Программная реализация интеллектуальной системы принятия решений при управлении объектами ядерной энергетики / Владимир Петрович Поваров. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – №1. – С. 293–308.
11. Правила Улаштування Електроустановок: чинний від 21.07.2017. – Відокремлений підрозділ «Науково-проектний центр розвитку Об'єднаної енергетичної системи України» державного підприємства «Національна енергетична компанія «Укренерго» (НПЦР ОЕС України), 2017. – 617 с.
12. АВТ.ВИМ.3Р3D MICROL 2.3 400A NSX400N [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product/LV432693/авт.вим.3р3d-microl-2.3-400a-nsx400n/>.
13. Трансформатор струму 400/5 А [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product/METSECT5HP040/трансформатор-струму-400-5-a/>.
14. Поверенный измеритель мощности PM5110 RS-485 [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа к ресурсу: <https://www.se.com/ru/ru/product/METSEPM5110RU/поверенный-измеритель-мощности-pm5110-rs-485/>.
15. ASCO SERIES 230 Automatic Transfer Switch [Electronic resource] // Schneider Electric – Access mode: <https://www.se.com/ie/en/product-range/66470-asco-series-230-automatic-transfer-switch/#overview>.
16. Модульный автоматический выключатель на струму до 63 А [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/7556-acti-9-%3A-ic60/>.
17. Допоміжний контакт OF/SD/E/SDV NS80/630 [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product/29450/допоміжний-контакт-of-sd-e-sdv-ns80-630/>.
18. IOF допоміжний контакт [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com/ua/uk/product/A9A26924/iof-допоміжний-контакт/>.
19. Modbus Technical Resources [Electronic resource] // Modbus – Access mode: <https://modbus.org/tech.php>.
20. Logic controller, Modicon M241, 24 IO relay Ethernet [Electronic resource] // Schneider Electric – Access mode: <https://www.se.com/ww/en/product/TM241CE24R/logic-controller%2C-modicon-m241%2C-24-io-relay-ethernet/>.
21. Automation Server [Электронный ресурс] // Schneider Electric – Режим доступа к ресурсу: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/Topics/show.castle?id=8059&locale=ru-RU&productversion=1.7>.

Received (Надійшла) 22.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 03.11.2021

**Hardware and software implementation
of automatic decision support in power supply systems**

S. Shapovalova, O. Baranichenko

Abstract. The subject of research in the article is the means of implementing an automatic decision support system. The purpose of the work is to present a solution for software and hardware implementation of automatic decision support in power supply systems. The article solves the following tasks: determining the requirements for the implementation of automatic decision support for the power supply system; determination of decisions to be made in the event of a power failure; determination of the hardware part of power supply systems; definition of specialized software for decision support in these systems. The following results are obtained: a solution is presented for the software and hardware implementation of automatic decision support for power supply for a data processing center, as a typical object that requires constant power supply. Conclusions: the main criteria have been identified to which the power supply systems must meet, requiring automatic decision-making to prevent its failures; presents the decisions to be made in the event of a power failure in data centers; an architectural solution for a power supply system with a built-in automated decision-making system is proposed; the software for making decisions in power supply systems is defined. A promising direction for further research is the improvement of intelligent decision-making methods.

Keywords: decision support system, power supply system.

А. С. Янко, А. М. Мартиненко, О. В. Бут

¹ Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», Полтава, Україна

МЕТОДИ ВИКОРИСТАННЯ SIMD ІНСТРУКЦІЙ НА X86 СУМІСНИХ ПРОЦЕСОРАХ СТАРШОГО ПОКОЛІННЯ

Анотація. Розглянуто використання векторних SIMD інструкцій на x86 сумісних процесорах для покращення ефективності обчислення та обробки даних. Застосування векторного набору інструкцій дозволяє збільшити кількість операцій виконуваних за такт, при цьому зменшення розгалужень у алгоритмах позитивно впливає на швидкість виконання програми за рахунок меншого навантаження на модуль передбачення умовних переходів у процесорі. До цього часу існує програмне забезпечення, що виконується на x86 архітектурі процесорних ядер, даний факт не завжди дає змогу використовувати новітні векторні інструкції починаючи з SSE4.1. Головним недоліком попередніх реалізацій векторних наборів інструкцій – це відсутність логічних і арифметичних операцій з деякими типами даних, особливо це спостерігається у операціях з цілими числами. Використання особливості бінарної реалізації цілих чисел зі знаком і без знаку, дозволяє компенсувати відсутність логічних операцій для цих типів даних. Експлуатація вроджених та непрямих властивостей деяких інструкцій допомагає, як компенсувати відсутність арифметичних операцій з необхідними типами даних або операцій для цілих чисел іншої розрядності, так і оптимізувати виконання математичних операцій таких, як знаходження суми, різниці, множення та скалярного добутку.

Ключові слова: арифметична операція, векторна інструкція, набір інструкцій процесора, операнд константи, оптимізація процесу обробки даних, паралелізм на рівні інструкцій, паралельне обчислення.

Вступ

Сьогодні практично всі процесори мають кілька блоків для обчислення. Зазвичай центральний процесор містить як арифметичну логічну одиницю (ALU), яка виконує цілочисельні операції, так і одиницю з плаваючою комою (FPU), яка виконує арифметику з плаваючою комою. Ці одиниці, як правило, працюють паралельно, тому ALU може виконувати цілочисельні інструкції в той же час FPU виконує вказівки з плаваючою комою. Деякі центральні процесори є суперскалярними з n -напрямком, що означає, що вони мають n паралельних одиниць виконання (зазвичай ALU) і можуть розпочинати обробку до n інструкцій для кожного циклу. Крім того, багато сучасних архітектур мікропроцесорів пропонують певний тип розширень типу SIMD (одна інструкція, декілька даних) до свого базового набору команд. Ці інструкції SIMD визначені у широких регістрах, вони містять 4, 8 або навіть 16 скалярних цілих чисел із плаваючою комою, виконуючи одну операцію над цими значеннями. Таким чином, використання інструкцій SIMD обіцяє потенційне 4-кратне (або 8- або 16-кратне) підвищення продуктивності коду, який може скористатися цим набором інструкцій. Доступні на даний момент розширення SIMD для x86 сумісних процесорів включають SSE, SSE2, SSE3, SSSE3 та більш новітні SSE4.1, SSE4.2, AVX. Оптимізацію послідовності виконання коду можна розділити на:

– паралелізм на рівні інструкцій. Існуючі алгоритми можна оптимізувати шляхом визначення подібних операцій та їх обчислення паралельно. Наприклад, множення в скалярного векторного добутку можна обчислити паралельно, використовуючи одне множення SIMD. Оскільки для більшості обчислень є послідовні аспекти, деякі частини процесу не можна оптимізувати напряму за допомогою паралелізму на рівні інструкцій, наприклад, підсумовування часткових добутків у скалярному векторному добутку.

– паралелізм на рівні даних. SIMD також можна використовувати для паралельної роботи з абсолютно

різними даними. Наприклад, типовим використанням може бути обчислення паралельно чотирьох скалярного векторного добутку. Паралелізм на рівні даних є природним оперативним використанням інструкцій SIMD, як це зрозуміло з назви SIMD.[1]

SSE та SSE2 доступні в кожному окремому процесорі сімейства x86 з 64-розрядною підтримкою. На жаль, рівень SSE2, зокрема, також є, мабуть, найбільш не ортогональним набором інструкцій SIMD у сучасному реаліях, де операції або доступні, або недоступні для певних типів даних, особливо там, де задіяні цілі числа. Пізніші версії (особливо починаючи з SSE4.1) заповнюють деякі недоробки та прогалини, але часто при розробці програмного забезпечення доводиться затримуватися на підтримці старих процесорів принаймні ще на кілька років, навіть на процесорах, що підтримують AVX2 набір інструкцій, залишається кілька класичних прогалин. Але не зважаючи на це все одне інтегрування SSE інструкцій при розробці має позитивний вплив на швидкість її виконання. Реалізація тих чи інших алгоритмів з використанням SSE використовується на останніх етапах розробки, оскільки передбачає за собою специфічне рішення, яке залежить від того які дані і як вони використовуються в програмі, але не рідкі випадки, коли такі алгоритми мають дещо спільні шаблони рішення, які часто використовують при програмуванні з використанням SSE інструкцій. Саме про такі найпоширеніші випадки йдеться в даній статті, в основному увага зосереджена на операціях з цілими числами, але випадки про числа з плаваючою комою також будуть розглянуті.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання використання SIMD інструкцій для пришвидшення виконання обчислення існує вже досить давно. Так першим хто почав їх використовувати це суперкомп'ютер ILLIAC IV у 1966 році. З часом зростання технологічного прогресу появи Інтернету та початку ери домашніх комп'ютерів активно почали вико-

ристовуватися задачах як 3D графіка, обробка аудіо та відео. Попит на цей конкретний тип обчислювальної потужності зріс, і виробники мікропроцесорів звернулися до SIMD, щоб задовольнити попит. Перший широко розповсюджений набір інструкцій SIMD для домашніх комп'ютерів був з розширеннями MMX від Intel до архітектури x86 у 1996 році, а згодом у 1999 SSE у процесорі Pentium III. Одні з перших публікацій на цю тему були в 1999 році у праці Асі Ельбаза – співрозробника першого кодеку MPEG-2 для Pentium III, його дослідження на той час стосувалися обробки зображень та сигналів. Згодом у 2000 році у своїй праці автори Д. Конте, Ф. Занічеллі та С. Томмесані детально описали обробку зображень з використанням SSE.

У сучасності на таких конференціях як CppCon, GDC практично кожен рік люди діляться своїми дослідженнями та досвідом, щодо використання SIMD інструкцій, наприклад, у 2018 році Боб Стіголл звітував про його дослідження у векторизації процесу декодування тексту, що знаходиться у форматі кодування UTF-8, а пізніше у 2020 року продовження доповіді про дослідження з використанням AVX-512. Актуальність проблеми з неможливістю використання новітніх SIMD на x86 процесорах можна побачити у випадку з компанією CD PROJEKT RED, яка 6 вересня 2021 року зробила оновлення для своєї минулорічної комп'ютерної гри, в якому було видалено використання AVX інструкцій для підтримки більш старих комп'ютерів.

Метою статті є розробка шаблонів використання SIMD інструкцій та їх властивостей для оптимізації обчислення за умов неможливості використання нового набору інструкцій починаючи з SSE4.1 та вище.

Виклад основного матеріалу

Вибірка без розгалуження. Уникнення розгалужень при побудові алгоритму – це природний спосіб виконання SIMD розрахунків. Якщо деяка частина обчислення є умовною, а не виконує еквівалент "if", то більш типово виконувати обчислення для розгалужень "if" та "else", а потім об'єднувати результати на основі умови. Під словом "вибір" мається на увазі операція, яка приймає умову та обидва результати та виконує приблизний еквівалент умов потрійного оператора мови програмування C "cond ? a : b". Спочатку знаходиться результат по обидві сторони вираження а і b. Потім обчислюється умовне вираження, використовуючи порівняння SIMD, яке повертає вектор, що містить бітову маску, в якій всі біти встановлені для ліній, що відповідають умові, та рівні нулю для ліній, що не відповідають умові. Ця операція вибору завжди може бути виконана за допомогою кількох побітових операцій, що добре відомо, але починаючи з SSE 4.1, ми також отримуємо дещо ефективніші варіанти, але менш відомі:

Ціле число:

```
_mm_or_si128(_mm_and_si128(a, cond);
_mm_andnot_si128(cond, b));
```

32-розрядний число з плаваючою комою:

```
_mm_or_ps(_mm_and_ps(a, cond);
_mm_andnot_ps(cond, b));
```

64-розрядний число з плаваючою комою:

```
_mm_or_pd(_mm_and_pd(a, cond), _mm_andnot_pd(cond, b))
```

Ціле число (SSE 4.1+):

```
_mm_blendv_epi8(a, b, cond).
```

32-бітне число з плаваючою комою (SSE 4.1+):

```
_mm_blendv_ps(a, b, cond).
```

64-бітне число з плаваючою комою (SSE 4.1+):

```
_mm_blendv_pd(a, b, cond).
```

Операції andnot не дуже зручні, але вони є найкращим вибором для попередніх версій перед SSE4.1. Порівняння цілих чисел без знаків. SSE, у всіх втіленнях, пропонує точно два типи цілочисельних порівнянь: тест на рівність (PCMPEQq, _mm_cmpeq_T, де t і T означають суфікси різних типів) та тест більше ніж зі знаком (PCMPGTq, _mm_cmpgt_T). Більшість інших типів порівняння можна створити, використовуючи лише логічне заперечення та стандартні ідентичності:

a == b підтримується безпосередньо.

a != b це !(a == b).

a > b (зі знаком) підтримується безпосередньо.

a < b (зі знаком) те саме, що b > a (поміняти місцями a і b).

a >= b (зі знаком) це !(a < b) (що в свою чергу є !(b > a)).

a <= b (зі знаком) це !(a > b).

У цьому списку явно відсутній будь-який тип упорядкованого порівняння без знака. Однак прийом, полягає в тому, щоб задати зміщення для цілого числа, щоб порівняння зі знаком було правильним:

a > b (без знака, 8-біт) те саме, що (a - 0x80) > (b - 0x80) (зі знаком, 8-біт).

a > b (без знака, 16-біт) те саме, що (a - 0x8000) > (b - 0x8000) (зі знаком, 16-біт).

a > b (без знака, 32-біт) те саме, що (a - 0x80000000) > (b - 0x80000000) (зі знаком, 32-біт).

Методи із заміною аргументів, які розглянуті раніше, можна використати для виконання й інших типів порівнянь. Загалом, прийом полягає в тому, щоб додати (або відняти, або виконати XOR – у даному конкретному випадку ці операції призводять до одного результату) мінімальне число зі знаком для відповідного типу у обох операндів порівняння перед його виконанням. Це перетворює найменше можливе ціле число без знака, 0, в найменше можливе ціле число зі знаком для даного типу. Зокрема, при порівнянні з константою це додавання (або віднімання, або XOR) може бути вбудовано в операнд константи, так що порівняння без знаку тільки в кінцевому підсумку виконає на одну операцію більше, ніж порівняння зі знаком (замість двох). Зовсім інший підхід полягає у використанні без знакових цілочисельних інструкцій min/max для побудови порівнянь менших або рівних чи більших або рівних:

a <= b тільки тоді, коли max(a, b) == b

a >= b тільки тоді, коли min(a, b) == b

Позитивною стороною даного процесу є те, що це зменшує порівняння без знаків до без знакового min або max, після чого йде порівняння рівності, яке становить лише дві операції замість трьох. Негативна сторона полягає в тому, що необхідні операції min/max без знака існують лише для 8-біт у SSE2. Варіанти 16-біт і 32-біт були нарешті додані з SSE4.1.

Знаходження min/max цілих чисел. SSE4.1 має повний набір цілих чисел min/max для 8-, 16- та 32-розрядних типів, як знакових, так і без знакових. У SSE2 отримується лише min/max порівняння для 8-бітних цілих чисел без знаку та 16-бітних без знаку. Але комбінуючи методи розглянуті вище можливо вивести рішення. Загальний шаблон буде виглядати як:

```
max(a, b) == (a > b) ? a : b;
min(a, b) == (a > b) ? b : a;
```

Тож це лише поєднання операції порівняння та операції вибору. Коли порівняння здійснюється для чисел зі знаком (випадки 8-біт та 32-біт), порівняння відображається на єдину SSE інструкції. Порівняння без знаку (16-біт та 32-біт) можна вирішити, використовуючи шаблон "знакове зміщення і порівняння", який, у свою чергу, дає нам без знакове значення `min/max`.

Множення. Є багато різних способів забезпечити множення в наборі інструкцій SIMD, і до теперішнього часу SSE випробувала більшість з них в тій чи іншій формі.

Почнемо з історично сформованого першого варіанту: множення 16-бітних чисел. Відповідні інструкції виходять з Pentium MMX і обчислюють нижні і верхні 16 біт знакового 16-бітного \times 16-бітного множення. MMX має тільки знакові множення, але SSE також додав інструкцію множення верхньої половини без знакового 16-бітного множення на 16-біт (нижні половини знакових і без знакових множень ідентичні). Ці інструкції підходять, якщо виникає потреба отримати нижню або верхню половину множення. Але також виникає питання, якщо потрібне повне 32-бітне множення векторів 16-бітних значень? Загальним шаблоном рішення у цієї ситуації є обчислення нижньої та верхньої половин, а потім поєднання їх, використовуючи інструкції розпакувати. Отже, для повного множення $16 \times 16 \rightarrow 32$ -біт (зверніть увагу, що це дає результати в два вектора), ми отримуємо:

```
// або: a*b (16-розрядні смуги), знакові
__m128i lo16 = _mm_mullo_epi16(a, b);
__m128i hi16 = _mm_mulhi_epi16(a, b);

// або: a*b (16-розрядні смуги), без знаку
__m128i lo16 = _mm_mullo_epu16(a, b);
__m128i hi16 = _mm_mulhi_epu16(a, b);

// потім злиття результатів
__m128i res0 = _mm_unpacklo_epi16(lo16, hi16);
// смуги результатів 0..3
__m128i res1 = _mm_unpackhi_epi16(lo16, hi16);
// смуги результатів 4..7
```

У випадках, коли потребується робота з 32-бітними значеннями виникає потреба у дещо іншому підході. Так існує $32 \times 32 \rightarrow 32$ -бітне множення (`PMULLD/_mm_mullo_epi32`), але ця інструкція була додана тільки з SSE4.1, і в багатьох реалізаціях виконується значно повільніше, ніж інші SSE2 множення. Таким чином, треба розглянути поточну ситуацію і прийняти рішення або не встановлювати такий високий числовий запас, або застосувати більш швидке рішення.

Існує повне $32 \times 32 \rightarrow 64$ -бітне множення, яке доступне з SSE2 як `PMULUDQ/_mm_mul_epu32` (без знаку). SSE4.1 додає знаковий еквівалент `PMULDQ/_mm_mul_epi32`. Ця інструкція лише обчислює два добутки (між парними смугами двох джерел) і поміщає їх у 128-бітний результат. Непарні 32-бітні лінії повністю ігноруються, тому, якщо виникає потреба в чотирьох цілочисельних $32 \times 32 \rightarrow 32$ -біт множеннях, знадобиться принаймні два з цих множень:

```
// res = _mm_mullo_epi32(a, b) еквівалент з використанням SSE2, через PMULUDQ.
```

```
// парні та непарні лінії
__m128i evnp = _mm_mul_epu32(a, b);
__m128i odda = _mm_srli_epi64(a, 32);
```

```
__m128i oddb = _mm_srli_epi64(b, 32);
__m128i oddp = _mm_mul_epu32(odda, oddb);
```

```
// злиття результатів
__m128i evn_mask = _mm_setr_epi32(-1, 0, -1, 0);
__m128i evn_result = _mm_and_si128(evnp, evn_mask);
```

```
__m128i odd_result = _mm_slli_epi64(evnp, 32);
__m128i res = _mm_or_si128(evn_result, odd_result);
```

Не є винятком коли використовуються 32-бітні векторні лінії, але в той самий момент числа з умов алгоритму насправді знаходяться в діапазоні 16-бітного цілого числа зі знаком $[-32768, 32767]$. Одним з можливих рішень в цьому випадку може бути спробувати звузити 32-бітові смуги до 16 біт, а потім використовувати послідовності $16 \times 16 \rightarrow 32$, зазначені вище, але існує другий більш оптимальний спосіб вирішення цієї задачі з використанням `_mm_madd_epi16`, ціль якої перемноження цілих 16-бітних чисел зі знаком створення проміжного 32-бітного результату цілих чисел зі знаком.

```
// a та b мають 32-бітні смуги зі значеннями, які відповідають цілим 16-бітним числам зі знаком.
```

```
// видає 32-бітний результат
```

```
// res [i] = a [i] * b [i]
```

```
// очищає верхні 16 бітів кожної 32-бітної смуги
```

```
__m128i bm = _mm_and_si128(b, _mm_set1_epi32(0xffff));
```

```
__m128i res = _mm_madd_epi16(a, bm);
```

```
// також можна поміняти ролі a і b вище, коли це зручно.
```

Це набагато коротше, ніж спочатку звуження до 16-біт. На жаль, такий спосіб працює тільки для 16-бітних чисел зі знаком.

Випадок, який залишилося розглянути це множення з використанням 32-бітних ліній зі значеннями, які вписуються в діапазон 16-бітних цілих чисел без знаку $[0, 65536]$.

```
// a та b мають 32-розрядні смуги зі значеннями, які відповідають цілим 16-бітним числам без знаку.
```

```
// тобто a[i] == (uint16) a[i] і те саме для b[i].
```

```
//
```

```
// видає 32-розрядний результат
```

```
// res [i] = a[i] * b[i]
```

```
// обчислюємо низькі та високі 16-розрядні добутки
```

```
__m128i lop = _mm_mullo_epi16(a, b);
```

```
__m128i hip = _mm_mulhi_epu16(a, b);
```

```
// злиття результатів
```

```
__m128i res = _mm_or_si128(lop, _mm_slli_epi32(hip16));
```

Додавання по горизонталі та скалярний добуток. SSE3 додає горизонтальні додавання `HADDPS (_mm_hadd_ps)` та `HADDPD (_mm_hadd_pd)`, а SSE4.1 додає інструкції із множенням `DPPS (_mm_dp_ps)` та `DPPD (_mm_dp_pd)`. Їх ціль операції над сусідніми парами чисел з плаваючою комою елементів a і b. Ці інструкції мають ряд недоліків, у більшості реалізацій x86 процесорах вони перетворюються на послідовність більш простих операцій (на рівні SSE2), також вони суперечать основній цілі SIMD операцій, замість виконання однотипних операцій над даними одночасно вони оперують над даними лише в межах одного регістру та супроводжується результатом, який ускладнює його використання для повних SIMD операцій, що в подальшому тільки негативно впливає на основну мету досягнути максимальної пропускної спроможності процесора по обробці інструкцій.

Інший вид горизонтальних додавань, та скалярного добутку для цілих чисел. SSE інструкції такого типу, наприклад, такі як `PHADDW/PHADD` (`_mm_hadd_epi16/_mm_hadd_epi32`), які присутні у реалізаціях SSSE3 і у версія, що з'явилися пізніше часто не підходять для рішення задач з причин, які описані вище або якщо немає можливості використовувати SSSE3 інструкції. У цьому випадку можуть бути корисними `PSADBW` (`_mm_sad_epu8`), `PMADDWD` (`_mm_madd_epi16`), які належать до реалізації SSE3 та для деяких окремих випадків інструкції `PMADDUBSW` (`_mm_maddubs_epi16`), яка доступна з SSSE3. Основна ідея `PMADDWD` і `PMADDUBSW` – це скалярний добуток між парами сусідніх ліній. `PMADDWD` обчислює два добутки 16-бітних цілих чисел зі знаком для кожної пари 16-бітних ліній і видає результат 32-бітне ціле число, що зберігається у 32-бітній результуючій лінії. Їх можна використовувати для обчислення скалярних добутків, але у них також є вироджені властивості які можуть бути корисними:

– `_mm_madd_epi16(x, _mm_set1_epi16(1))` підсумовує 16-розрядні парні та непарні смуги по парах, щоб отримати 32-бітні результати.

– `_mm_maddubs_epi16(_mm_unpacklo_epi8(a, b), _mm_setr_epi8(1, -1, 1, -1, ..., 1, -1))` є найшвидшим способом обчислення 16-бітної різниці для цілих чисел зі знаком між 8-бітними без знаковими векторами `a` і `b` на процесорах, які підтримують SSSE3.

– `_mm_sad_epu8(x, _mm_setzero_si128())` обчислює дві 16-бітові горизонтальні суми груп з восьми ліній 8-бітних цілих чисел без знаку за одну і досить швидко операцію, річ йде про приблизно п'яти циклів

на одну інструкцію. Також можна застосувати прийом порівняння розглянутий раніше, але у зворотному порядку. Тобто задати зміщення для виконання операції над числами зі знаком, щоб обчислити суму восьми 8-бітних цілих чисел зі знаком: додати (або відняти, або виконати XOR) `_mm_set1_epi8(-128)` з потрібним аргументом перед виконанням `_mm_sad_epu8()` і потім відняти 128×8 з отриманого результату 16-бітної суми.

Висновки

При проектуванні SIMD інструкцій для x86 сумісних процесорів, а сам SSE, та подальшої їх інтеграції було допущено ряд архітектурних рішень які потенціально ускладнюють оптимізацію процесу обробки даних, деякі з цих проблем, такі як, відсутність можливості виконання однієї операції для цілочисельних чисел різної розрядності та їх типу, зі знаком або без, були вирішені у наступних версіях даного набору інструкцій. Не зважаючи на високий рівень підтримки нових інструкцій в сучасних реаліях, деякі продукти потребують повного покриття використовуваних процесорів, тому не завжди є можливість використовувати нові інструкції. Для таких випадків коли потрібно, наприклад, здійснити емуляцію інструкції, було вироблено ряд практик, які показують найкращий результат. При роботі з такими набором інструкцій можливі прийняти більш оптимальні рішення, якщо використовувати їх не тільки по прямому призначені, а знаходити і використовувати їх вироджені властивості.

REFERENCES

1. Christer Ericson, "Real-time Collision Detection" – The Morgan Kaufmann Series, 2004. pp. 543–545.
2. Daniel Kusswurm, "Modern X86 Assembly Language Programming: 32-bit, 64-bit, SSE, and AVX", 2014. – pp. 179-187.
3. David H. Eberly, "GPGPU Programming for Games and Science", 2014. – 93 p.
4. Paul Besl, "A case study comparing AoS (Arrays of Structures) and SoA (Structures of Arrays) data layouts for a compute-intensive loop run on Intel Xeon processors and Intel Xeon Phi product family coprocessors". In: Intel Article 392271, 2015.
5. G. Ren, P. Wu and D. A. Padua, "A preliminary study on the vectorization of multimedia applications for multimedia extensions", in Proc. LCPC 03, 2003. – pp. 420–435.

Received (Надійшла) 27.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.11.2021

Methods of using simd instructions on x86 compatible older generation processors

A. Yanko, A. Martynenko, O. But

Abstract. The use of vector SIMD instructions on x86 compatible processors to improve the efficiency of computing and data processing is considered. The use of a vector set of instructions allows you to increase the number of operations performed per clock cycle through the use of parallelism at the instruction level or parallelism at the data level. At the same time, the reduction of branches in the algorithms also adds a positive impact on the speed of program execution due to fewer loads on the module for predicting conditional transitions in the processor. Also it help to optimize the use of cache lines and data transportation between the L1 cache and the CPU register because in modern processors the bus through which data is transported between the L1 cache and the register is at least 128 bits. In some cases this fact can play a significant role in achieving the goal of computational optimization. Additionally, the previously listed factors improve the ability of modern processors to execute instructions out of order. An important factor for the effective use of SIMD instructions is to accurately determine the type, nature of the data and the desired end result of the algorithm because further modification of the algorithm based on the use of SIMD is not flexible and depends entirely on these factors. So far, there is software running on the x86 architecture of processor cores, this fact does not always allow the use of the latest vector instructions starting with SSE4.1. The main disadvantage of previous implementations of vector instruction sets is the lack of logical and arithmetic operations with some types of data, especially in operations with integers. Using the features of binary implementation of sign integers, allow to compensate for the lack of logical operations for these data types. Exploiting the degenerate and indirect properties of some instructions helps both to compensate for the absence of arithmetic operations with the required data types and operations for integers with a different bit depth, likewise to optimize the performance of mathematical operations such as finding the sum, difference, multiplication and scalar product.

Keywords: arithmetic operation, vector instruction, set of processor instructions, operand constants, optimization of data processing, parallelism at the instruction level, parallel calculation.

E. Ivohin¹, V. Gavrilenko², P. Vavryk¹¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine² National Transport University, Kyiv, Ukraine

ONE METHOD FOR ESTIMATION AUDIENCE OVERLAP IN SOCIAL MEDIA

Abstract. In this paper we provided the definition of the Audience overlap network, as well as proposed a simple algorithm to compute overlap between two users on social media based on public data about their followers. There was proposed an alternative approach for computing overlaps based only on public data about users. This approach allows to include content overlap and activity patterns signals to be incorporated into more general statistical models featuring other covariates such as influencers' direct engagement in shared conversations; relative influencer sizes and histories and links to similar third-party content to recover otherwise censored network structures and properties. For validate results there was designed a calibration process which utilizes Evolution Strategies algorithm to find a set of conditions which will make Audience overlap network built using similarity measures structurally equivalent to the Audience overlap network build on full information about followers.

Keywords: content, overlap, social media, algorithm.

Introduction

With growing number of users in recent years, social media platforms have become not only the prime place for public discourse, but also a main source of news for many people. This massive development increased a need of their analysis on structural and content levels. Every level has its own state of the art tools and methods of research. But in many cases, understating of influence on social media requires performing analysis on both levels simultaneously and mapping “influencers” and ordinary users serving as their audiences. To map social media influencers to their audiences we explore a general approach for building Audience overlap networks (AONs). AONs can be used for multitude of applied problems e.g., detecting groups of users spreading disinformation, coordinated messaging campaigns, general community detection, etc. AONs can be built for most of modern social media platforms (e.g., Facebook, Twitter, or YouTube), the only condition we require for these platforms is to have a follower-followee connections structure. While platforms like Twitter or Reddit grant unrestricted access to lists of followers or members of influential channels and profiles, others like YouTube or Facebook do not grant similar access or otherwise restrict its granularity. This puts additional pressure for general

approach of building AONs but at the same time opens opportunity for exploration of deeper connections between influencers and their audiences.

In this paper, our aim is to provide a general definition of the AON, data processing steps needed for creating AON and the challenges faced when building AONs for social media platforms with minimal amount of public data available.

To demonstrate challenges faced while working with limited input data we first use Twitter to provide a baseline AONs which can be used for any out-of-sample testing.

Our first pick was Twitter because not only Twitter holds the position of one of the most popular social networks (most official government accounts are present there e.g., President Biden, United Nations, World Health Organization) but also Twitter was designed in way that all interaction between users remain visible to everyone else. Twitter also has a flexible public application programming interface (API).

We will follow definitions in [1], where audience overlaps were computed by link and cross-link similarity.

Data processing

In this section we describe the topics and the process of collecting data for building AONs (Table 1).

Table 1–Topics and influencers

ID	Name	Influencers
T ₁	Democratic primaries	Joe Biden, Mike Bloomberg, Pete Buttigieg, Kamala Harris, Amy Klobuchar, Bernie Sanders, Elizabeth Warren
T ₂	Airline geeks	Boarding Area, French Painter, One Mile at a Time, Runway Girl, Secret Flying, Wander Me
T ₃	Global issues	Inside Climate, Ro Khanna, Sierra Club, The Economist, World Bank, Yale E360, Chris J. Zullo
T ₄	Technology investors	Adam Scrabble, Epsilon Theory, Eric R. Weinstein, Fast Company, Naval, Nick Timiraos, WIRED

Topics and influencers

We consider four topics and influencer groups:

*T*₁: Democratic primaries. Conversations about the 2020 Democratic Party presidential primaries. Influencers are selected from the top presidential contenders.

*T*₂: Airline geeks. Conversation related to the airline industry and business air travel. Influencers include reviewers of frequent flyer programs, travel experience bloggers and industry insiders.

*T*₃: Global issues. Conversations about reporting, analysis and opinions on global environmental, climate and energy issues. Influencers include magazines like The Economist, and selected journalists and organizations like The World Economic Forum.

*T*₄: Technology investment. Conversations on technology investment, emerging technologies and entrepreneurship. Influencers include prominent venture capitalists and industry publications.

Influencers were selected for both relevance and focus on a topic and ability to generate engagements with their content. Table 1 lists selected influencers for every topic in alphabetical order for entities and last name for individuals.

In most of the cases the analysis of social networks is more effective when applied to specific subset of conversation (posts) and authors (users). We define

social media topic as all authors and conversations which mention specific keywords. In our case keyword can represent a name or multiple spellings of author as well as some general expressions related to the area of interest.

For every topic, we used the Twitter API [2] to query and download all tweets for the first half of 2020, including tweets by identified influencers; then download the list of followers for every influencer.

Audience overlaps network

We define AON as graph with influencers as vertices, where the weight of the edge between vertices (influencers) defined as the number of shared followers between them (audience overlap).

Consider Fig. 1 as a visualization of the structure of some topic *X*. Here we have identified influencers *A* and *B* and eight followers. We calculate the audience overlap between *A* and *B* as

$$O(A, B) = \frac{|F_A \cap F_B|}{|F_A|},$$

where *F*_{*A*} and *F*_{*B*} denote sets of followers of *A* and *B* respectively. In this particular case *O*(*A*, *B*) = 3/6 and *O*(*B*, *A*) = 3/5. After downloading all followers for each influencer, we built the AON for every topic see Fig. 2.

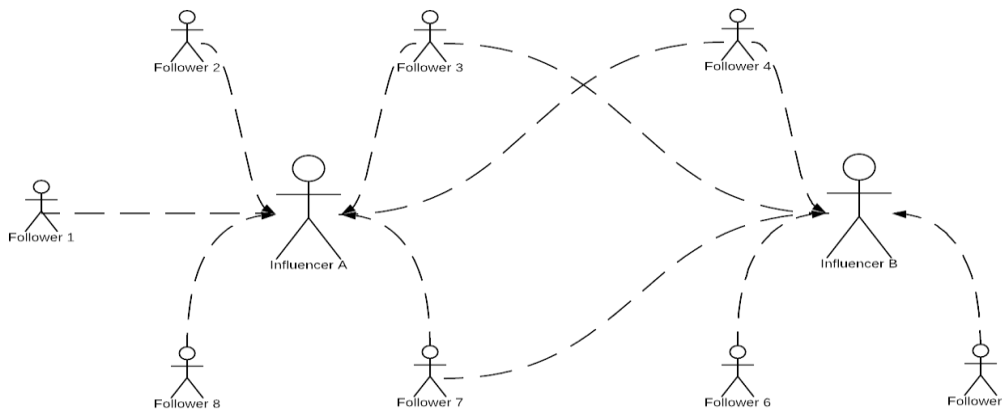
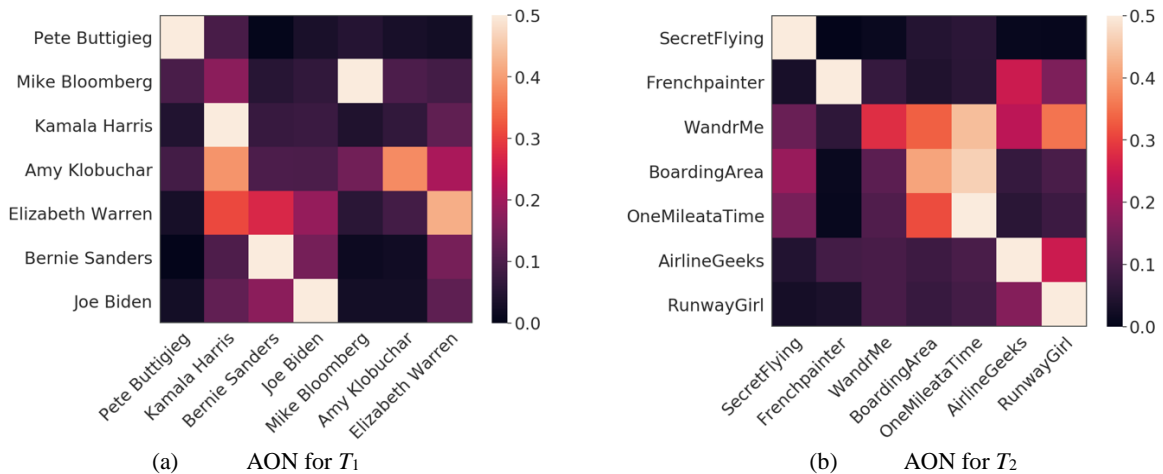


Fig. 1. A sample follower-follower network for influencers *A* and *B*



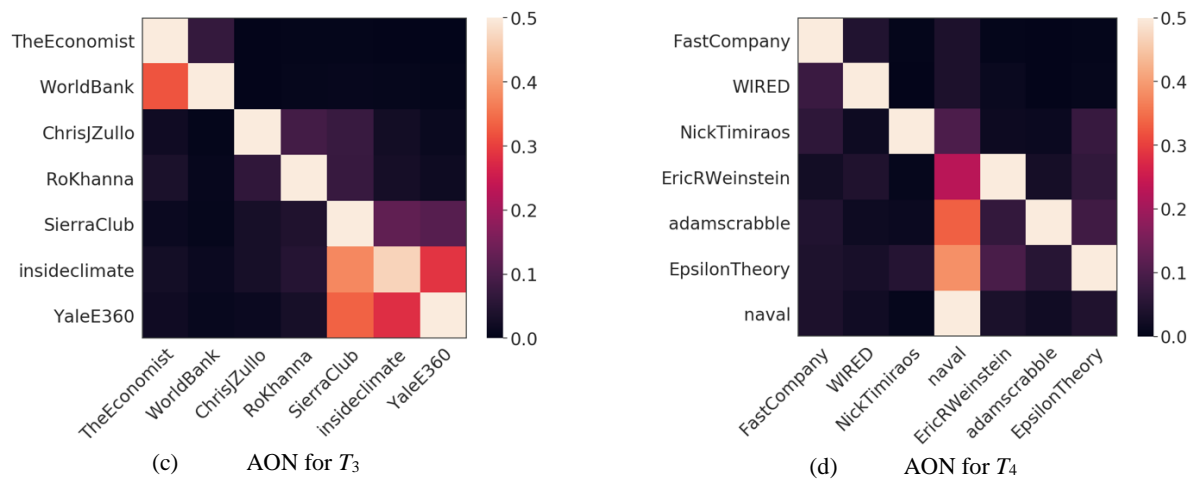


Fig. 2. Visual presentation of AON for every topic in a table form where every cell is an average percentage of shared followers between two influencers.

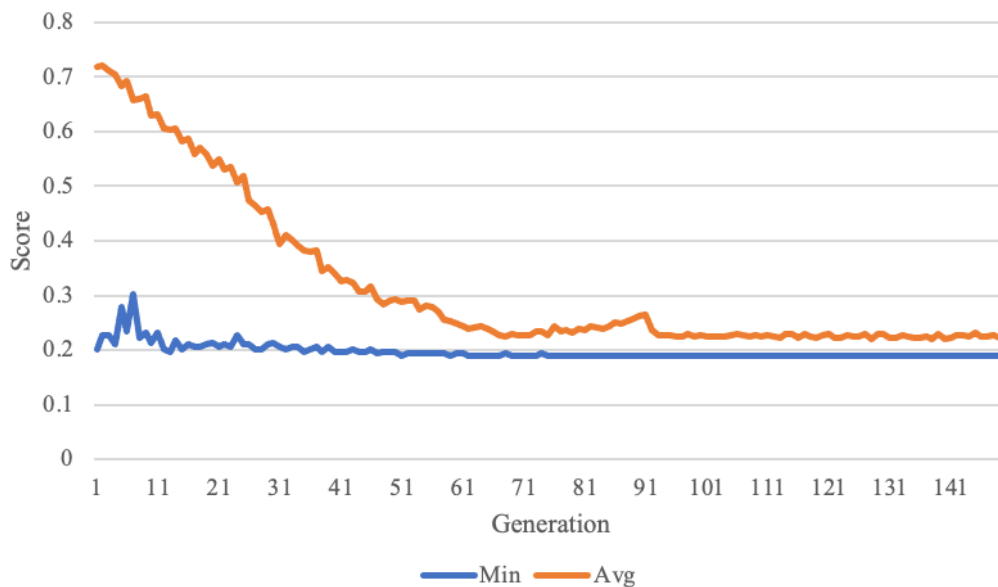


Fig. 3. Calibration progress for the topic T_1 .

Lack of data

The process of building AONs based on Twitter data raises no additional problems, at same time many large social media platforms have restricted public access to information about follower. This is the case with Facebook, even though the follower-follower structure is present on the platform we are unable to build AONs. At the same time Facebook still leaves a lot of information about influencers and their activity including content of posts, reactions, comments, all annotated with timestamps.

We defined a set of functions, each of them comparing similarity of two influencers based on some characteristic:

- $S_1(A, B)$ – compares similarity between content of A and B using cosine distance based on the features produced by Bag-of-Words method [3].
- $S_2(A, B)$ – performs a search for links to same resources ("http://*", "https://*", "www.*", etc.)

published by both A and B . This function also checks for domains similarity.

- $S_3(A, B)$ – compares distributions of publishing activities of A and B .
- $S_4(A, B)$ – compares distributions of comments under publications of A and B .

We consider that every comparison function has different weight within different topics, so the final comparison function is defined as

$$S(A, B) = \sum_{i=1}^4 w_i * \max(0, (S_i(A, B) - b_i)),$$

where $S_i(A, B)$, $i=1,2,3,4$ - values defined above.

The solution for building AONs on partial data is to compare influencers using function $S(A, B)$ instead of comparing actual followers. But having multiple unknown parameters in comparison function doesn't instantly provide AON, but rather requires understating of the communities' structure from the platform with known followers.

Calibration

After we built AON for every topic of interest, we tried to find the set of values for weight parameters so that the AON built using $S(A,B)$ function will structurally match baseline Twitter AON.

For this purpose, we designed a rigorous calibration process which utilizes Evolution Strategies algorithm [4] and performs a search over values of weight parameters to minimize structural difference between output and baseline AON.

We selected the following measurements of structural difference:

- Number of clusters ($> 2, > 3, > 4, > 5$).
- Diameter of the graph.
- Betweenness centrality.

To get more clear calibration results, we extended the list of influencers in every topic to 30.

Results

Figure 3. presents calibration results for the topic T_1 after 150 generations of the algorithm.

The optimization started optimistically by improving average score by factor of 3 in just 50 generations, but after 100 generations the algorithm couldn't find a better set of parameters.

The same problem appeared in calibrations for the rest of the topics.

This is a clear indication that the function for measuring similarity can find only macro-level differences leaving micro-level differences unexplored.

This problem can be solved by applying state of the art Natural Language Processing techniques for measuring content similarity [5] or by using methods for analyzing information flows in social networks (Social Network Mining) [6].

Summary

We identified the role of Audience overlap networks as a powerful tool for analysis of social media.

We described a general approach for building AONs while having full understating of follower-follower relations.

Using four topics, we showed that it is possible to build an approximation of AON using only minimal amount of input data.

We are also certain that by applying better content similarity measures it is possible to improve process of building AONs and remove the need in knowing full structure of the followers.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Subhayan Mukerjee, Silvia Majó-Vázquez, and Sandra González-Bailón. Networks of Audience Overlap in the Consumption of Digital News// Journal of Communication.- 2008. - V.68. – Iss.1. – Pp.26–50.
2. Twitter API v1.1. [Online] – Available from: <https://developer.twitter.com/en/docs/twitter-api/v1>.
3. Zhang Y, Jin R, Zhou Z H. Understanding bag-of-words model: A statistical framework. // International Journal of Machine Learning and Cybernetics. – 2010. - 1(1). – Pp.43-52.
4. Beyer, Hans-Georg, Schwefel, Hans-Paul. Evolution strategies - A comprehensive introduction// Natural Computing. – 2002. - 1(1). – Pp.3-52.
5. Daniel Cer, Yinfei Yang, Sheng-yi Kong, Nan Hua, Nicole Limtiaco, Rhomni St John, Noah Constant, Mario Guajardo-Cespedes, et al. Universal sentence encoder// arXiv preprint, 2018. arXiv: 1803.11175.
6. Гусарова Н.Ф. Анализ социальных сетей. Основные понятия и метрики. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 67 с.

Received (Надійшла) 10.11.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

Про один метод оцінки перетину аудиторій у соціальних мережах

Є. В. Івохін, В. В. Гавриленко, П. Р. Ваврик

Анотація. У цій статті пропонується загальне формулювання мережі перетину аудиторій в соціальних мереж, а також простий алгоритм для визначення перетину аудиторій двох окремих користувачів, який базується на використанні публічних даних про їх послідовників. Запропоновано альтернативний підхід пошуку перетину аудиторій, який базується на схожості користувачів на основі лише загальнодоступних даних. Підхід дозволяє розглядати сигнали схожості контенту і особливостей поведінки для застосування у загальних статистичних моделях, що формалізують типові для мереж характеристики (коваріати), такі як пряма участь впливових осіб в загальних обговореннях; відносні розміри і історії впливових осіб, а також посилення на аналогічний сторонній контент для відновлення цензурованих мережевих структур і властивостей. Для валідації результатів застосовано процес калібрації і встановлено наявність залежності перетину аудиторій користувачів від схожості створеного ними контенту та особливостей їх поведінки.

Ключові слова: контент, перекриття, соціальні мережі, алгоритм.

A. Kapiton¹, O. Diachenko², R. Zakharov³, T. Yanchuk⁴

¹ National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

² Mariupol State University, Mariupol, Ukraine

³ Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

⁴ Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

SYSTEMATIC APPROACH APPLICATION TO THE DEVELOPMENT FOR THE SITE OF UNIVERSITY SCIENTIFIC ACTIVITY

Abstract. The article analyzes a systematic approach to accounting for scientific activities of universities. The object of research of the work is chosen to take into account the research activities of teachers of higher education. The subject of the study is the analysis and use of tools for site development on the subject of this problem. The purpose of the authors consider the research, development and implementation of the site of accounting for research activities of teachers of higher education. It is proved that system analysis is based on systemology, principles of cybernetics and modeling and plays the role of a system approach tool based on mathematical analysis and probability theory, discrete mathematics and operations research, which uses modern computer technologies to implement its basic methods and solution's application of applied problems.

Keywords: information system, system analysis, system approach, site, scientific activity, institution of higher education.

Introduction

It is clear that system analysis is a way to study complex objects in order to identify the impact of the relationship of elements and subsystems on the properties of the object as a whole. Researchers claim that the subject of system analysis is a methodology (a set of methodological tools, a system of actions), which is designed to solve the problem (preparation and justification of solutions to study the goal) on the basis of various scientific tools.

System analysis is based on systemology, principles of cybernetics and modeling and plays the role of a system approach tool. In addition, system analysis is based on mathematical analysis and probability theory, discrete mathematics and operations research, and uses modern computer technology to implement its basic methods and solve applied problems [1, 2].

An important component of the professional activity of teachers is research, which directs their creative search for the development of new theoretical concepts, effective methods and educational technologies and more. The introduction of the results of research activities of teachers in the practice of higher education allows to raise the level of professional training of future professionals to a qualitatively new level. As you know, in the modern conditions of higher education, teachers have significant opportunities for research with the help of modern information and communication technologies. In each higher education institution there is a research part that monitors the scientific activities of teachers, organizes their tasks and monitors the deadlines.

According to the task, teachers prepare monographs, articles, regulatory and technical documents, participate in inventive activities and more. It is also possible for teachers of other universities of Ukraine and foreign higher education institutions to work together.

To simplify the process of accounting for all types of activities of teachers of higher education, it is neces-

sary to create an information system that will optimize, speed up and improve the work of the research part.

Analysis of recent research and publications

The topic of educational information technologies through the prism of digitalization of scientific activity of the subjects of the educational process by means of information and communication technologies is of interest to many domestic and foreign scientists.

The works of many scientists, including: I. Bloshchynsky, R. Gorbatyuk, R. Gurevych, M. Zhaldak, O. Evzikova, V. Kovalchuk, V. Ognevyuk, I. Osmolovska, V. Parhomenko, I. Pidlasy, N. Yu. Ramsky S. Sysoieva, O. Starysh [1-5, 9].

Among foreign scholars are the following: Meg Butler, Michael J. Hannafin, Janette R. Hill, Janet Macdonald and others.

Researchers believe that the modern approach to scientific work should be systematic and cover all aspects of educational and research work in preparing students of different specialties for professional activities, based on the constant development of information technology [3, 4, 6-8].

The system of knowledge acquired while studying at the university is based on previously acquired, preserved knowledge, due to the fact that:

scientific and technological progress is constantly taking place,

the development of educational innovations is mediated by advances in IT,

development of various software products, provision of qualified services educational content for future customers, which is possible only with the use of information and communication technologies becomes important in the system of forming quality knowledge of students.

The problem of development and implementation of the information system of accounting of scientific activity which take place in the institution of higher education is rather actual.

Main part

Systematics has always existed, no matter what form of human general property it is – the idea or the objective reality. The concept of systematics arose together with man. Systematics has always been and is one of the methods of science - as for scientists of the past who did not always fully realize that they enjoy it, so for the modern scientists. At first it was conscious systematization of the process of cognition, presentation of knowledge, and therefore discussions on systemic problems first arose in philosophy, logic, mathematics, so one of the objective reasons the emergence of system science is the systematic thinking of man [1].

Information system - a set of organizational and technical means for storing and processing information to meet the information needs of users. Information system - a communication system that provides collection, retrieval, processing and transmission of information. In any information management system, three types of problems are solved:

situation assessment tasks (sometimes called pattern recognition tasks);

problems of situation description transformation (calculation problems, modeling problems);

decision-making tasks (including optimization)[1].

Modern conditions are characterized by the use of highly efficient information systems based on the use of the latest information technologies. Information, especially its automated processing, still remains an important factor in improving the efficiency of any organization. An important role in the use of information is played by the methods of its registration, processing, accumulation and transmission; systematic storage of information and its issuance in the required form; production of new numerical, graphic and other information [1,3]. The main purpose of scientific and methodical work of the teacher has a dual nature, namely: provides professional development and scientific and methodological level of teachers, as well as provides the educational process with scientifically sound teaching aids (programs, plans, textbooks and manuals, visual aids, computer programs). Both sides of the main goal are closely interconnected and interdependent. It is primarily about the development of the teacher as a creative person, about switching him from the consumer type to an independent search for methodological solutions, about transforming the teacher into a developer and author of innovative methods and teaching aids that allow them to implement. The difference between scientific and methodical work of teachers from traditional educational and methodical work is not in mastering existing knowledge in science and not in appropriating someone else's teaching experience, but in finding, extracting new knowledge. The pinnacle of professional and personal growth is the teacher's ability to carry out individual research activities, which can be represented by work on a methodological topic and the implementation of dissertation research on the material and basis of the educational institution. Thus, the scientific and methodological work of the teacher is a scientific study, the purpose of which is to obtain their own, i.e. the au-

thor's conclusions and results of theoretical and practical nature in the field of teaching a particular discipline and within the chosen topic [3].

This study considers the implementation of the following system of functionality for scientists:

edit your own profiles;

view last year's research reports;

add research and information on inventive activity to the database of the information system;

enter in the database of graduate students;

edit information about works;

send and receive messages from the administrator.

The stages of project development are usually performed sequentially, so it is extremely important to follow the sequence of stages and understand that any unexpected and uncoordinated changes might significantly affect the efficiency of work. Work on each project should be carried out in strict accordance with the following stages of work on site development.

1. Pre-project preparation. Idea.

Defining the topic of the future site, clarifying the goals and objectives, defining and analyzing the target audience. Competitors analysis. Site structure development - a sketch of the site on paper. Creating a list of future thematic sections.

2. Development of page design.

2.1. Website design concept (creative design). Creative idea, development of the basic graphic concept of site design on the example of the main and secondary pages. Choice of colors, artistic style. Preparation of design layout.

2.2. Technical design. Development of logical and physical structure of the resource. Page layout, layout, navigation elements.

3. Layout. Creating page templates. Checking the correctness of the code. Layout of site pages on the basis of the approved design of standard pages. Collection of pages.

4. Information content of the site. Preparation of text materials. Preparation of graphic materials in raster format, image optimization. Filling pages.

5. Program part of the project.

5.1. Integration of the site with the management system. Nowadays, no modern site can do without a management system, because it is important not only the beautiful outer shell of this site, but also the ability to conveniently work with it. This is especially true for sites with a branched structure and a large amount of data. Its includes: integration with the management system, programming, server settings, project security. Quality control.

5.2. Programming, project launch. At this stage, the functionality that is not included in the standard composition of the control system is being finalized.

6. Testing the site on the Internet. Testing the site for errors and correct operation in browsers.

7. Placing the site on the Internet. Organization of work on placing the project on the Internet. Domain name selection and registration. Choosing a hosting provider, site hosting. Final testing of the site. Training of the client's staff how to work with the site management system (Fig. 1).

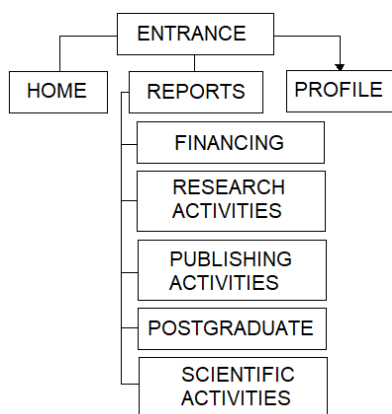


Fig. 1. Site structure for university departments

It is important to test and refine the development. After creating a site, it is spread on the network (Internet), it is necessary to register a domain address for the site and determine the hosting - a place on the server of the provider, where the page will be located. If the site is hosted on the Internet, then before you promote and advertise it, you should check the site for functionality. It is possible that some scripts are executed with errors or important and valuable information is missed somewhere. After the site has been tested and verified for performance, you should ask people who did not participate in the development to review and test the site again. It is possible that certain shortcomings were not noticed, which can be seen by a person who did not participate in the development.

You can also manage a survey: what visitors like or dislike about the site, whether navigation is convenient, and so on.

Conclusions

The study is based on the concept of systems, where the term "analysis" indicates the nature of the procedure for justifying decisions, which involves: the division of the problem into its components, which are more accessible to solve; use of the necessary methods for solving individual problems; combination of partial solutions into a general one.

Thus, the leading concept of system analysis is a systematic approach. In turn, system analysis is a tool of a systematic approach based on system theory. As the work is complex (the developed site is focused on teachers and employees of the research part of the higher education institution), the implementation of the information system was divided into two parts. In this paper, the implementation of functionalities for entering information about research work of university teachers was considered.

In this information system, the administrator and staff of departments are able to add and edit information about inventive activities, published scientific and technical activities, enter information about graduate students, view last year's research reports, edit their profiles, exchange messages with the administrator. Thus, the introduction of this closed information system allows more efficient and fast accounting of research activities of university teachers.

REFERENCES

1. Evzikova, O. Google Education Tools URL: <http://teachtech.ru/instrumenty-veb-2-0/instrumenty-google-dlya-obrazovaniya.html>.
2. Ognevyuk, V., Sysoieva, S. 2015. Training of educational experts in Ukraine: experimental interdisciplinary program. *The advanced science journal* (6), pp. 98-103.
3. Пархоменко В. 2016. Інформаційна аналітика у сфері науково-технічної діяльності. 224 с.
4. Ковальчук В. В. 2014. Основи наукових досліджень: Навчальний посібник. 208 с.
5. Старіш О. 2018. Системологія. Центр навчальної літератури. 232 с.
6. 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>.
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. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
9. Цехмістрова Г. С. Основи наукових досліджень : навчальний посібник / Г. С. Цехмістрова. – К. : Видавничий Дім «Слово», 2003. – 240 с.

Received (Надійшла) 01.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.11.2011

Застосування системного підходу до розробки сайта наукової діяльності університету

А. Капітон, О. Дяченко, Р. Захаров, Т. Янчук

Анотація. Стаття аналізує системний підхід до розробки сайта наукової діяльності університету. Об'єкт дослідження обрано з урахуванням науково-дослідницької діяльності викладачів вищих навчальних закладів. Предметом дослідження є аналіз та використання інструментів для розробки сайтів на тему даної проблеми. Метою автори вважають дослідження, розробку та впровадження сайту обліку науково-дослідної діяльності викладачів вищих навчальних закладів. Доведено, що системний аналіз базується на системології, принципах кібернетики та моделювання та відіграє роль інструменту системного підходу, заснованого на математичному аналізі та теорії ймовірностей, дискретної математики та дослідження операцій, який використовує сучасні комп'ютерні технології для розв'язку прикладних задач.

Ключові слова: інформаційна система, системний аналіз, системний підхід, сайт, наукова діяльність, заклад вищої освіти.

Е. Е. Малохвій, В. С. Бугай, Г. І. Молчанов, О. П. Черних

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ JAVASCRIPT РІШЕНЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ

Анотація. Предметом дослідження в статті є сучасні JavaScript рішення для розробки веб-додатків, а саме JavaScript бібліотека React та фреймворк Vue. **Мета роботи** – аналітичний огляд та порівняння сучасних JavaScript рішень для розробки веб-додатків виходячи з трендів на 2021 рік. Для достовірності дослідження поточного стану ринку було використано наступні інструменти: Google Trends, Stack Overflow Developer Survey, GitHub Stars, The State of JavaScript, найпопулярніші платформи пошуку роботи для розробників. В статті наведено порівняння популярних: бібліотеки React та фреймворку Vue, відзначено їх переваги і недоліки.

Ключові слова: JavaScript, React, Vue, веб-додаток, фреймворк, бібліотека.

Вступ

Коли тільки з'явився Інтернет та статистичні сайти, ніхто не замислювався про оптимізацію швидкості завантаження та масштабування веб-додатків. На той час цілі та завдання, що стоять перед розробниками, дуже відрізнялися від сьогоденних. Але з розвитком веб-технологій та поширення інтернету з'явилася потреба в бібліотеках та фреймворках, які здатні надати розробникам: високу швидкість, гнучкість, простоту та масштабованість. Досить швидко число бібліотек та фреймворків, націлених на вирішення цих завдань, почало зростати. Отже, JavaScript-бібліотеки стали невід'ємною частиною кожного сучасного веб-додатку. Існує безліч подібних бібліотек та фреймворків, в результаті розробникам постійно доводиться ставити питання про те, що вибрати. В даній статті не буде розглянути усі існуючі бібліотеки та фреймворки, зупинимось конкретно на двох, а саме: React та Vue.

Основною метою статті є рекомендації до вибору технології для вивчення у 2021 році. Це актуальне питання як для програмістів-початківців, так і для більш досвідчених, які думають про те, щоб переключитися на щось нове. Автори статті намагалися бути максимально об'єктивними, саме тому як докази використовували статистичні дані про нинішню ситуацію на ринку.

У статті наведено порівняння популярних: бібліотеки React та фреймворку Vue, відзначено їх переваги і недоліки, а також наведено трохи особистої думки авторів, які, звичайно, суб'єктивні, але не упереджені та базуються на досвіді авторів у використанні обох фреймворків.

Виклад основного матеріалу

Почнемо з історії та передумови виникнення React та Vue. React – JavaScript-бібліотека з відкритим вихідним кодом [1], створена Джорданом Валке з Facebook. Перед компанією стояло завдання покращити процеси створення та рендерингу інтерфейсів, адже Facebook необхідно було розробляти та підтримувати. Вже на той момент це був величезний проєкт, а існуючих технологій не вистачало. Вперше React використовувався в стрічці новин Facebook в 2011 році і пізніше в стрічці Instagram в 2012-му. Але

лише у 2013 році спільноті розробників на конференції JSConf US було представлено вихідний код. Пройшло вже багато часу, вийшли сотні апдейтів, фіксів та доповнень функціоналу, але з тих пір React залишається найпопулярнішим серед 3 гігантів. На сьогодні версія 17.0.2 від 27 жовтня 2021 року є найактуальнішою. За рахунок своєї популярності та зручності багато великих компаній використовують цю бібліотеку для розробки своїх продуктів. Серед них Facebook, Netflix, Yandex та багато інших.

Vue.js – JavaScript-фреймворк [2], створений у 2014 році Еваном Ю, колишнім співробітником Google, хоча розробку він починав ще у стінах компанії. Факт того, що повноцінний фреймворк був створений одним програмістом – одна з головних відмінностей Vue, адже за рештою стоять технічні гіганти. На початковому етапі Еван повністю займався написанням коду, оновленням документації, виправленням багів та просуванням свого дітища. З моменту появи Vue минуло 7 років і вже зараз він зрівнявся за популярністю з Angular від такого гіганта, як Google. Найсвіжіший реліз Vue 2.6.14 був представлений 7 червня 2021 року. А також 18 вересня 2020 була показана версія 3.0, яка вже незабаром стане основною [3]. Змішення можливостей інших успішних JavaScript-фреймворків, одна з найкращих документаций (найкраща китайською) та легкість початку роботи робить його таким популярним. Серед великих компаній, які використовують всі переваги Vue, відзначимо Zoom, GitLab, Behance, Font Awesome.

У світі JavaScript нові фреймворки та бібліотеки з'являються чи не щодня. Насправді, це майже безперервний процес, під час якого лідери змінюються практично кожні кілька місяців. Щороку з'являються нові «вбивці», які обіцяють більш високу продуктивність, зручніше використання та меншу кількість багів. Цей процес не можна зупинити, за ним залишається стежити, щоб не опинитися в ситуації, коли твої навички будуть застарілими. Для відстеження трендів існує багато інструментів.

Важливо пам'ятати, що з повноти картини необхідно звертатися до кількох із них. Давайте розглянемо поточний стан ринку.

Google Trends – статистика пошукових запитів досить точно показує інтерес розробників до різних технологій [4].

Розглянемо статистику пошукових запитів за останні 12 місяців у світі (рис. 1). Проаналізувавши їх, стає очевидним, що React впевнено утримував лідерську позицію, але згодом почав втрачати. Кількість пошукових запитів у світі по Vue за останній рік зрівнялася з показниками React. Особливо Vue додав під кінець року, на думку авторів це пов'язано з появою альфа версії Vue 3.0 в загальному доступі та продовженням підтримки командою розробників Vue попередньої версії.

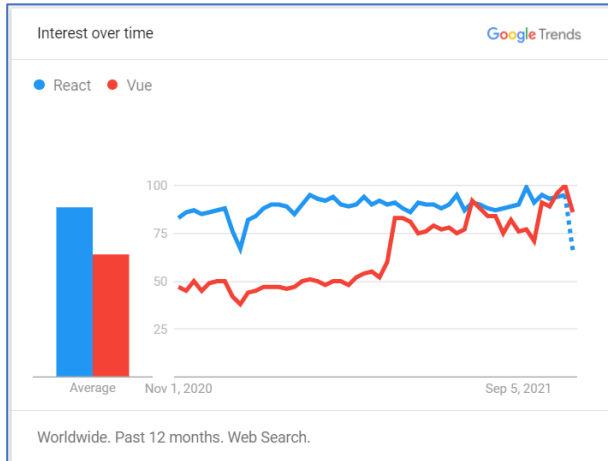


Рис. 1. Статистика пошукових запитів в Google (Світова)

Але все ж світова статистика не дає нам право однозначно відсунути React на задній план, а графіку (рис. 2) наведено статистику пошукових запитів за останні 12 місяців на території України (з урахуванням АР Крим). Статистика невтішна для Vue. Проаналізувавши графік, робимо висновок, що українські розробники більше роблять свій вибір у бік React ніж Vue.

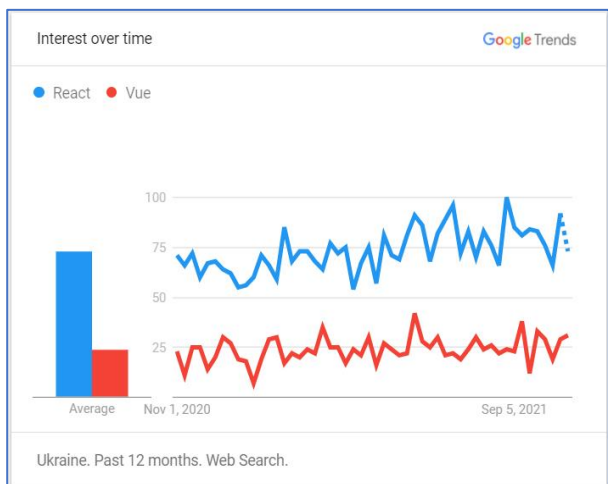


Рис. 2. Статистика пошукових запитів в Google (Україна)

Stack Overflow Developer Survey – щороку найпопулярніший форум програмістів проводить власне дослідження, в якому можуть взяти участь усі охочі [5]. Якщо звернути увагу на результати опитування 2020 року на тему улюбленого веб-фреймворку або

бібліотеки (рис. 3), розрив між React і Vue.js становить трохи менше 3%. Тепер ситуація не виглядає такою однозначною, як після перших двох графіків.

GitHub Stars – за кількістю зірок у репозиторію можна з легкістю сказати про популярність чогось серед розробників. На даний момент у React – 177 тисяч зірок, у той час як у Vue.js – 190 тисяч. Якщо дивитися тільки на ці дані (рис. 4), то Vue явно лідує, а отже, немає сенсу витрачати час на React.

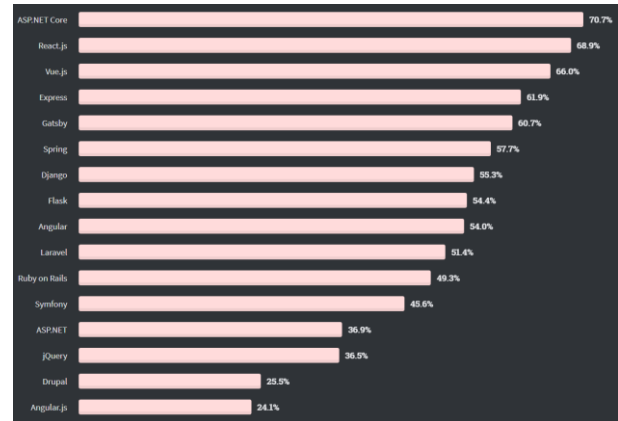


Рис. 3. Відсоток розробників, які розробляють мовою або технологією і виявили зацікавленість у продовженні розвитку з нею

Але, як вже було згадано вище, необхідно завжди звертатися до кількох ресурсів, щоб отримати повну картину.

The State of JavaScript – опитування, присвячене виключно JavaScript.



Рис. 4. Порівняння досвіду розробників під час використання певної технології

Де, як не тут, можна виявити справжнє ставлення розробників до інструментів, що використовуються.

З цих графіків (рис. 4) можна зробити висновок про більшу кількість людей, які використовують React [6]. Але водночас відсоток тих, хто спробував і вирішив більше не застосовувати Vue.js, – нижче [7].

Кількість вакансій – мабуть, найважливіший показник. Якщо всі попередні графіки представляли

безпосередньо думку розробників, ці дані відображають потреби бізнесу. Чим більше опублікованих оголошень, тим більше шансів отримати роботу за менший час.

Було проаналізовано найбільш популярні платформи пошуку роботи для розробників.

Станом на сьогодні, бізнес більше надає перевагу React ніж Vue. Як видно із графіка (рис. 5), React не залишає жодних шансів Vue.

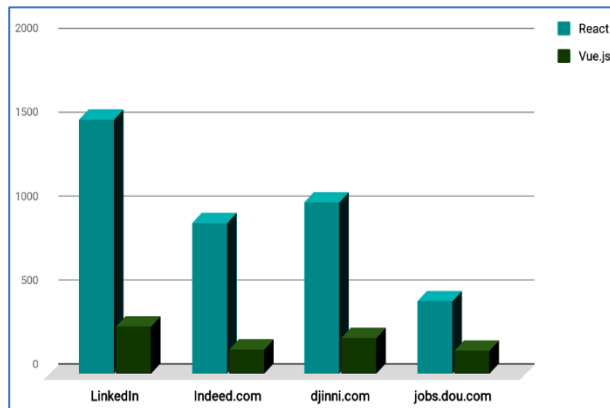


Рис. 5. Кількість вакансій на найбільш популярних платформах пошуку роботи для розробників

Зміни в інтерфейсі будь-якого веб-додатку виконуються шляхом модифікації об'єктної моделі документа (DOM). Існують такі поняття, як віртуальна DOM та реальна DOM. Від того, як організований процес роботи з DOM, серйозно залежить продуктивність JavaScript рішення для розробки веб-додатків. У React використовується віртуальна DOM – це легковажна система, яка не залежить від браузера. Однією з основних причин популярності React є те, що бібліотека дуже ефективно працює з DOM [8]. У Vue також використовується віртуальна DOM, але, в порівнянні з React, Vue відрізняється більш високою продуктивністю та стабільністю [9].

Спільноти, що складаються навколо технологій, серйозно впливають на їх розвиток та розповсюдження. Зокрема, члени спільнот здатні допомогти основним розробникам технологій, вони створюють різні додатки, а також допомагають новачкам. Підтримкою та розвитком самої бібліотеки React займається Facebook. Це дає тому, хто обирає цю бібліотеку як основу свого веб-додатку, досить високий рівень впевненості в тому, що React у найближчому майбутньому не перетвориться на якийсь занедбаний усіма проект.

Співтовариство React-розробників створило та підтримує безліч додаткових інструментів. На відміну від React, Vue – це проект, біля витоків якого стоїть звичайна людина, а не велика корпорація. Як результат – спочатку після появи цей фреймворк виглядав в очах розробників не особливо надійним. Однак через деякий час Vue став надзвичайно популярним, в його розвиток робить внесок безліч розробників. Фактично, можна говорити про те, що саме спільнота Vue-розробників це та сила, яка підтримує проект.

Якщо розглядати питання розміру дуже спрощено, можна сказати, що React трохи більший, ніж Vue. Розмір React – близько 100 Кб, розмір Vue – близько 80 Кб. Розмір JavaScript бібліотеки або фреймворку – це дуже важливий показник, який дуже впливає на продуктивність веб-додатків. Чим він менший, тим краще.

Однак тут слід зазначити, що React, для реалізації певних можливостей, потребує сторонніх бібліотек. Однією з таких можливостей є маршрутизація. Vue ж – це проект, що володіє більшим переліком стандартних можливостей, хоча і при роботі з Vue без додатків теж не обійтися. І React і Vue, все ж таки, мають досить скромні розміри, що робить їх цілком придатними для розробки невеликих за розміром веб-додатків.

Перш ніж обирати технологію для чергового проекту, програмісти та управлінці зазвичай цікавляться тим, у яких існуючих проектах ця технологія вже застосовується.

Якщо говорити про те, на чому засновані React і Vue, про JavaScript та інші веб-технології, можна сказати, що все це застосовується в незліченній кількості компаній.

Якщо ж подивитися на конкретні приклади застосування React та Vue, то можна виділити, наприклад, такі компанії для застосування React:

- Facebook – як уже було сказано, ця компанія створила та підтримує React, і, крім того, активно використовує цю бібліотеку;
 - Twitter – платформа, орієнтована на публікацію коротких повідомлень;
 - Instagram – на цій платформі акцент робиться на публікацію зображень;
 - WhatsApp – популярний месенджер.
- Приклади застосування Vue:
- GitLab – проект, який допомагає розробникам спільно створювати різноманітні додатки;
 - 9Gag – проект, відомий мемами та іншими подібними матеріалами;
 - Nintendo – розробник ігор;
 - Grammarly – сервіс з перевірки граматики.

Стосовно гнучкості рішень наведених у статті, Ядро React надає лише базовий функціонал. Під час комерційного використання цієї бібліотеки її можливості доводиться розширювати. Це дає розробнику величезний рівень гнучкості щодо вибору додаткових інструментів.

Існують засоби для розробки інтерфейсів, ідеї, закладені в які можна вважати прямо протилежними тим, які закладені в React. Наприклад – це Angular – фреймворк, до складу якого включено безліч стандартних засобів. Плюс цього готовий набір інструментів, які добре поєднуються один з одним. Мінус – відсутність рівня гнучкості у виборі додатків, який дає React.

Якщо говорити про конкретні завдання, які вирішуються за допомогою додаткових бібліотек, що використовуються з React, то тут можна відзначити, наприклад, маршрутизацію, керування станом додатків, серверний рендеринг, розробку додатків для мобільних

пристроїв. Vue, на відміну від React, дає розробнику більший набір стандартних інструментів [10], які дозволяють вирішувати ті самі завдання, які у екосистемі React зазвичай вирішують з допомогою сторонніх бібліотек.

І на останок розглянемо «криву здатності навчатися» для React та Vue. Для початку дамо загальне визначення цього терміну. Це графічне представлення зміни швидкості опанування певного знання або виду діяльності.

У нашому випадку йдеться про швидкість освоєння React та Vue. Проаналізувавши результати опитування The State of JavaScript [11] робимо висновки, що Vue освоїти легше, ніж React. Як видно з результатів опитування, багато хто з розробників які користувалися React, планують знову користуватися цією бібліотекою. Чимало розробників зацікавлені у вивченні React. Якщо ж говорити про Vue, то можна відзначити, що показник використання цього фреймворку не такий великий, як у React, а показник, що вказує на зацікавленість у вивченні, перевищує React. Це дозволяє говорити про те, що Vue – це фреймворк, який дуже багато хто хоче спробувати. В результаті, враховуючи те, що Vue легше в освоєнні, очікується, що в майбутньому зросте кількість тих, хто використовував Vue і планує використовувати знову.

Висновок

У статті розглянути фреймворки React та Vue. Обидва мають свої переваги та недоліки, чимось

вони схожі, а чимось різняться. React набагато популярніший, а отже спеціаліст який володіє цим фреймворком є більш цікавим з точки зору роботодавця у порівнянні з Vue. Але насамперед, Vue легше в вивченні як новачкам, так і тим, хто вже має досвід роботи з будь-яким із фреймворків.

Отже, популярність Vue зростає, насамперед завдяки чудовій документації, простоті використання та можливостям поступового впровадження. Vue розробляється та підтримується командою, має ширший набір вбудованих інструментів та рішень. Що стосується швидкості розробки, за допомогою Vue CLI 4 потрібно лише кілька тижнів, щоб налаштувати та випустити продукт, готовий до продажу.

Якщо зібрати воедино все те, що перераховано в статті, можна зробити такі висновки:

- React популярніший за Vue;
- React користується підтримкою великої компанії, тоді як Vue такої підтримки немає;
- Vue краще підійде, якщо необхідно негайно розпочати розробку;
- Vue дає змогу отримати доступ до більшої кількості інструментів від розробників фреймворку та їх підтримку;
- в Vue простежується змішання можливостей деяких інших успішних фреймворків у тому числі React. Що дає змогу використовувати найкращі парадигми та підходи до розробки веб-додатків на сьогоднішній день в одному фреймворку;
- розмір Vue менший за розмір React.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Documentation for React – Режим доступу: <https://reactjs.org/docs/getting-started.html>
2. Documentation for Vue.js 2.x – Режим доступу: <https://vuejs.org/v2/guide/>
3. Documentation for Vue.js 3.x – Режим доступу: <https://v3.vuejs.org/guide/>
4. Google Trends. Comparison of React and Vue – Режим доступу: <https://trends.google.com/trends/explore?q=React,Vue>
5. Stack Overflow Developer Survey 2020 – Режим доступу: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2020#technology-most-loved-dreaded-and-wanted-web-frameworks-loved2>
6. The State of JavaScript. React Experience Over Time – Режим доступу: <https://2019.stateofjs.com/front-end-frameworks/react/>
7. The State of JavaScript. Vue Experience Over Time – Режим доступу: <https://2019.stateofjs.com/front-end-frameworks/vuejs/>
8. React Cookbook: Recipes for Mastering the React Framework 1st edition / David Griffiths, Dawn Griffiths – O'Reilly Media, 2021.
9. Front-End Development Projects with Vue.js: Learn to build scalable web applications and dynamic user interfaces with Vue 2 / Raymond Camden, Hugo Di Francesco, Clifford Gurney, Philip Kirkbride, Maya Shavin – Packt Publishing, 2020.
10. Vue.js 3 Cookbook: Discover actionable solutions for building modern web apps with the latest Vue features and TypeScript 1st edition / Heitor Ramon Ribeiro – Packt Publishing, 2020.
11. The State of JavaScript. Front-end Frameworks Overview – Режим доступу: https://2019.stateofjs.com/front-end-frameworks/#front_end_frameworks_section_overview

Received (Надійшла) 15.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.11.2021

Analytical overview and comparison of modern JavaScript solutions for web application development

E. Malokhvii, V. Buhai, H. Molchanov, O. Chernykh

Abstract. The subject of research in the article is modern JavaScript solutions for web application development. The purpose of the work is to provide an analytical review of JavaScript solutions for web application development. Moreover, a comparison in the article is based on trends for 2021. For the reliability of research of the current state of the market, authors used the following tools: Google Trends, Stack Overflow Developer Survey, GitHub Stars, State of JavaScript, the most popular job search platforms for developers. The article compares the well-known React library and the young Vue framework, highlighting their advantages and disadvantages.

Keywords: JavaScript, React, Vue, web application, framework, library

В. В. Міхав, Є. В. Мелешко, М. С. Якименко, Д. В. Бащенко

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

МЕТОДИ ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ЗВ'ЯЗНИХ СПИСКІВ

Анотація. Метою даної роботи є дослідження та порівняльний аналіз методів і структур даних для зберігання інформації рекомендаційної системи, щоб порівняти ефективність їх використання за затратами часу та пам'яті. Вибір методу представлення даних, якими оперує рекомендаційна система, має важливе значення, оскільки ефективний спосіб побудови бази даних для роботи такої системи може зменшити кількість потрібних ресурсів та збільшити кількість доступних алгоритмів для формування списків рекомендацій, а також є важливим з точки зору якості її роботи, швидкості, можливостей масштабування та зручності виконання основних операцій з даними для формування рекомендацій. Наявність великої кількості різних методів реалізації баз даних та представлення інформації, що можна використати при побудові рекомендаційних систем, викликає необхідність порівняльного аналізу та вибору оптимального методу і структури даних для зберігання інформації в них. У роботі було проведено дослідження різних структур даних, які можна використати для зберігання інформації рекомендаційної системи. Зокрема, таких як зв'язний список, розгорнутий зв'язний список, хеш-таблиця, В-дерево, В+-дерево та бінарна діаграма рішень. Для проведення експериментів з порівняння ефективності застосування різних структур даних за затратами часу та пам'яті було розроблено програмну модель спрощеної рекомендаційної системи, в якій було виділено три основні сутності – агент, сесія та предмет. Найкращі результати показали методи зберігання даних з використанням розгорнутого та інвертованого розгорнутого зв'язних списків. Тому було вирішено також провести додаткову серію експериментів з цими структурами даних для різного розміру блоку списку. Розгорнутий список показав кращі результати за використовуваною пам'яттю та за часом генерації сесій. Інвертований розгорнутий список показав перевагу за часом генерації рекомендацій.

Ключові слова: рекомендаційні системи, бази даних, програмна імітаційна модель, зв'язний список, розгорнутий зв'язний список, хеш-таблиця, В-дерево, В+-дерево, бінарні діаграми рішень.

Вступ

Рекомендаційні системи у наш час є важливою складовою соціальних мереж та контент-орієнтованих веб-сайтів і значним чином впливають на те, як користувачі сприймають інформаційний простір у мережі Інтернет [1, 2]. Вибір методу представлення даних, якими оперує рекомендаційна система, має важливе значення, оскільки ефективний спосіб побудови бази даних для роботи такої системи може зменшити кількість потрібних ресурсів та збільшити кількість доступних алгоритмів для формування списків рекомендацій. Отже, вибір методів реалізації бази даних для зберігання інформації рекомендаційної системи є важливою науково-практичною задачею.

На сьогоднішній день існує багато різних систем управління базами даних, крім реляційних баз даних широке застосування отримують бази даних типу NoSQL [3, 4]. СУБД типу NoSQL можуть бути реалізовані по-різному, зокрема, як Сховища типу «ключ-значення» (Key-value stores), Масштабовані розподілені сховища (Column Family (Bigtable) stores), графові СУБД (Graph Stores), документо-орієнтовані СУБД (Document Stores) тощо [3-5].

Спосіб зберігання даних рекомендаційної системи є важливим з точки зору якості її роботи, швидкості, можливостей масштабування, зручності виконання основних операцій з даними для формування рекомендацій.

Все частіше для зберігання даних рекомендаційних систем та інших додатків починають використовувати графові моделі [6-8], також графова форма представлення даних стає поширеною у програмному моделюванні складних систем та мереж [9-

12], і це відбувається через ряд переваг графових моделей [8, 13]. Яскравим прикладом такого підходу являється побудова рекомендаційних систем з застосуванням графової СУБД Neo4j [14]. Графові моделі СУБД надають не лише зручний формат зберігання даних, а й зручний формат запитів. В документатії до Neo4j є приклади реалізації алгоритмів формування рекомендацій запитом до цієї СУБД, що ілюструє її придатність для використання в рекомендаційних системах.

Наявність великої кількості різних методів реалізації баз даних та способів представлення інформації, що можна використати при побудові рекомендаційних систем, викликає необхідність порівняльного аналізу та вибору оптимального методу і структури даних для зберігання інформації у таких системах.

Основна частина

Було проведено дослідження різних структур даних, які можна використати для створення бази даних рекомендаційної системи [15, 16], а саме нижче наведених.

Зв'язний список (linked list) – структура даних, у якій кожен елемент містить поля даних та вказівник на наступний елемент. Основна перевага цієї структури полягає у сталому часі додавання нового елемента.

Проте для кожного елемента потрібно виділяти новий блок пам'яті, тому менеджер пам'яті спричиняє значні затримки та накладні витрати пам'яті в процесі роботи.

Розгорнутий зв'язний список (unrolled list) – зв'язний список, кожен елемент якого містить масив логічних елементів. Це дозволяє об'єднати переваги масивів та зв'язних списків. Об'єднання блоків логі-

чних елементів у список дозволяє додавати нові елементи без зміни розміру блоку пам'яті, економити пам'ять на вказівниках та ефективніше використовувати кеш процесора завдяки послідовному розташуванню елементів. При послідовному заповненні списку гарантується, що незаповненим лишиться не більше одного блоку елементів.

Хеш-таблиця (hash map) – структура даних, у якій пошук елемента здійснюється на основі його ключа. На розташування елемента у хеш-таблиці вказує хеш-значення його ключа. Якщо декілька елементів мають однаковий хеш, то виникає колізія. Існує два методи розв'язання колізій – закрита та відкрита адресації. При закритій адресації кожен елемент таблиці – це зв'язний список, і усі елементи з однаковим хешем додаються до одного списку. Це є найпростішим способом розв'язання колізій, але вимагає використання додаткової пам'яті для вказівників і не дозволяє використовувати переваги кешування при обході елементів хеш-таблиці.

При відкритій адресації у випадку колізії обирається нова позиція елементу. Нова позиція може обиратися як за допомогою додаткової хеш-функції, так і шляхом зміщення позиції на декілька елементів. Пошук елемента повторюється, доки не буде досягнуто порожнього запису у таблиці. Відкрита адресація використовує фіксований об'єм пам'яті і не потребує додаткових вказівників, але для ефективності операцій вставки і пошуку таблиця має бути заповнена не більш, ніж на 50%, тож це спричиняє додаткові витрати пам'яті.

В-дерево (b-tree) – структура даних представлена збалансованим та сильно розгалуженим деревом пошуку. Кожен вузол В-дерева, крім листків, є упорядкованим списком, у якому чергуються ключі і вказівники на потомків. Ключі вузла вказують інтервал, у якому знаходяться ключі потомку. **В+-дерево (B+-tree)** відрізняється тим, що воно зберігає усі значення у листових вузлах, а листові вузли мають посилання на сусіда, завдяки чому можна обійти усі значення без обходу всього дерева. Завдяки великій розгалуженості дерева підтримується мала висота дерева, що дозволяє переглядати невеликий об'єм даних за один прохід, а завдяки правилам побудови значення зберігаються у порядку зростання ключа.

Бінарні діаграми рішень (BDD) – економна форма представлення булевих функцій у вигляді орієнтованого ациклічного графу. Вершини графу представляють аргументи функції, листки – її двійкові значення. Для додавання і вилучення ребер та зміни ваги ребер необхідно мати можливість редагувати дані графу. БДР дають можливість зберігати дані у стисненому вигляді та швидко отримувати значення функції за її параметрами, але редагування БДР вимагає складних обчислень. При представленні булевих функцій у формі БДР стало можливим розв'язувати багато проблем, які при традиційних представленнях структур нерозв'язні через значну розмірність таких представлень і складність операцій над ними. БДР можуть успішно застосовуватися фактично в кожній галузі, де потрібно обробляти дискретні структури даних.

Було проведено серію експериментів для порівняння ефективності використання розглянутих структур даних за затратами часу та пам'яті. Результати експериментів наведені у таблицях 1-2 та на рисунках 1-2.

Експерименти проводилися на комп'ютері з процесором AMD Ryzen 5 3600 та 32 Гб оперативної пам'яті. Для формування рекомендацій було використано колаборативну фільтрацію. З метою моделювання рекомендаційної системи розроблено програмну імітаційну модель, в якій було виділено три основні сутності – агент, сесія та предмет. На цій програмній моделі і проводилися експерименти.

Для проведення експерименту по вивченню потреб в оперативній пам'яті було розроблено програмну модель спрощеної рекомендаційної системи, в якій було виділено три основні сутності – агент, сесія та предмет [15, 16].

Рекомендаційна система отримує наступні параметри: n_a – кількість агентів, n_s – кількість сесій, n_i – кількість предметів, n_{al} – максимальна кількість вподобань агента, n_{sl} – максимальний розмір сесії.

РС у розробленій програмній моделі працює за наступним алгоритмом:

1. Для кожного з n_a агентів випадковим чином генерується від 1 до n_{al} вподобань. При цьому унікальність вподобань не перевіряється, тому реальна кількість вподобань може виявитися менше.

2. Створюється n_s сесій. До кожної сесії закріплюється випадковим чином обраний агент. Потім серед вподобань цього агента випадковим чином обирається від 1 до $\min(n_{al}, n_{sl})$ вподобань, які копіюються до сесії.

3. Випадковим чином обирається контрольна сесія, для якої буде сформовано рекомендацію.

4. Визначаються усі предмети, які належать до контрольної сесії.

5. Здійснюється пошук усіх сесій, вподобання яких мають перетин із вподобаннями контрольної сесії. На цьому етапі є можливість відфільтрувати сесії за розміром перетину.

6. Визначаються предмети, які буде рекомендовано. Здійснюється пошук усіх предметів, які належать хоча б одній з відібраних сесій, але не належать до контрольної сесії. На цьому етапі є можливість відфільтрувати предмети за кількістю закріплених сесій.

Результати експериментів наведені у табл. 1, де:

- agentCount – кількість агентів;
- itemsCount – кількість предметів;
- sessionsCount – кількість сесій;
- sessionsSize – розмір сесії;
- maxLikes – максимальна кількість лайків,
- БДР – бінарні діаграми рішень.

Як видно з таблиці 1, найкращі результати показали методи зберігання з використанням розгорнутого та інвертованого розгорнутого зв'язних списків. Тому було вирішено також провести додаткову серію експериментів з цими структурами даних для різного розміру блоку (кількість елементів в блоці зв'язного списку), результати якої наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати експериментів для порівняння ефективності різних структур даних для зберігання інформації рекомендаційної системи

Структура даних	Використана пам'ять, мін. знач., Gb	Використана пам'ять, макс. знач., Gb	Час генерації лайків, ms	Час генерації сесії, ms	Час генерації рекомендацій, ms
<i>agentCount = 65536, itemsCount = 131072, sessionsCount = 262144, sessionSize = 192, maxLikes = 1536</i>					
БДР	0,786	1,3	210945	237214	45766
Хеш-таблиця	2,2	2,2	2312	4034	316
В+-дерево	2,1	2,1	5407	5324	213
Зв'язний список	4,5	4,5	2989	4323	23223
Розгорнутий зв'язний список	0,578	0,578	962	2259	141
Інвертований зв'язний список	0,767	0,767	947	3842	93
<i>agentCount = 131072, itemsCount = 262144, sessionsCount = 524288, sessionSize = 256, maxLikes = 2048</i>					
БДР	1,8	3,6	607610	682754	153045
Хеш-таблиця	6,4	6,4	5359	10811	2312
В+-дерево	5,6	5,6	14925	14554	720
Зв'язний список	12,1	12,1	8052	11195	74346
Розгорнутий зв'язний список	1,2	1,2	2623	5921	412
Інвертований зв'язний список	1,9	1,9	2616	10457	277
<i>agentCount = 262144, itemsCount = 524288, sessionsCount = 1048576, sessionSize = 256, maxLikes = 2048</i>					
БДР	3,4	7,2	1366467	1551391	313122
Хеш-таблиця	12,8	12,8	10661	21722	4248
В+-дерево	11,2	11,2	29810	29111	1357
Зв'язний список	24	24	16051	22323	146845
Розгорнутий зв'язний список	2,4	2,4	5227	11846	808
Інвертований зв'язний список	3,9	3,9	5248	20919	563

Таблиця 2 – Результати експериментів для порівняння ефективності звичайного та інвертованого розгорнутих зв'язних списків для зберігання інформації рекомендаційної системи

№ експ.	Структура даних	Кількість елементів в блоці зв'язного списку	Використана пам'ять, макс. знач., Gb	Час генерації лайків, ms	Час генерації сесії, ms	Час генерації рекомендацій, ms
1.	РЗС	52	4,7	10954	25355	1998
	ІРЗС		7,1	10845	37742	1563
2.	РЗС	130	4,4	10577	24480	1754
	ІРЗС		6,9	10393	42919	1281
3.	РЗС	200	5,5	10433	24427	1821
	ІРЗС		8,2	10429	42846	1334
4.	РЗС	260	4,8	10404	23710	1602
	ІРЗС		7,8	10933	41616	855

У табл. 2 було використано наступні скорочення: РЗС – розгорнутий зв'язний список, ІРЗС – інвертований розгорнутий зв'язний список.

Розгорнутий список показав кращі результати за використовуваною пам'яттю в середньому в 1,54 рази та за часом генерації сесії в середньому в 1,68 разів.

В той же час інвертований розгорнутий список показав перевагу за часом генерації рекомендацій в середньому в 1,43 разів.

Час генерації лайків обидва методи показали приблизно однаковим.

Висновки

У роботі було проведено дослідження різних структур даних, які можна використати для зберігання даних рекомендаційної системи. Зокрема, таких як зв'язний список, розгорнутий зв'язний список, хеш-таблиця, В-дерево, В+-дерево та бінарні діаграми рiшень.

Для проведення експериментів з порівняння ефективності застосування різних структур даних за затратами часу та пам'яті було розроблено програмну

модель спрощеної рекомендаційної системи, в якій було виділено три основні сутності – агент, сесія та предмет. Найкращі результати показали методи зберігання даних з використанням розгорнутого та інвертованого розгорнутого зв'язних списків. Тому було вирішено також провести додаткову серію експериментів з цими структурами даних для різного розміру блоку списку. Розгорнутий список показав кращі результати за використовуваною пам'яттю в сере-

дньому в 1,54 рази та за часом генерації сесій в середньому в 1,68 разів. Інвертований розгорнутий список показав перевагу за часом генерації рекомендацій в середньому в 1,43 разів. Час генерації лайків обидва методи показали приблизно однаковим.

Подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження існуючих систем управління базами даних, методів зберігання інформації у них та їх ефективності для рекомендаційних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Recommender Systems Handbook (2010) Editors F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, P. B. Kantor, New York, NY, Springer-Verlag New York, Inc., USA. 842 p.
2. Valois B.Jr.C., Oliveira M.A. (2011) Recommender systems in social networks. JISTEM J.Inf.Syst. Technol. Manag., Vol.8 No.3. P. 681-716. URL: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-17752011000300009
3. Фаулер М., Садаладж П. Дж. (2013) NoSQL: Новая методология разработки нереляционных баз данных. Издательский дом «Вильямс», Москва. 192 с.
4. Meier A., Kaufmann M. (2019) SQL & NoSQL Databases. Springer Vieweg, Wiesbaden. P. 201-218. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.7089&rep=rep1&type=pdf>
5. Cure O., Blin G. (2014) RDF Database Systems: Triples Storage and SPARQL Query Processing. Elsevier Science. 256 p.
6. Yi N., Li C., Feng X., Shi M. (2017) Design and implementation of movie recommender system based on graph database. 14th Web Information Systems and Applications Conference (WISA), IEEE. P. 132-135.
7. Angles R. (2012) A comparison of current graph database models. IEEE 28th International Conference on Data Engineering Workshops, IEEE. P. 171-177.
8. Засядко Г.Е., Карпов А.В. (2017) Проблемы разработки графовых баз данных. Инженерный вестник Дона. №1 (44). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razrabotki-grafovyh-baz-dannyh>
9. Мелков С., Мусатов Д., Савватеев А. (2013) Моделирование социальных сетей. URL: https://kpfu.ru/docs/F117464271/MMS_socnet_cities.pdf
10. Берновски М.М., Кузюрин Н.Н. (2012) Случайные графы, модели и генераторы безмасштабных графов. Труды ИСП РАН. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sluchaynye-grafy-modeli-i-generatory-bezmasshtabnyh-grafov>
11. Райгородский А.М. (2012) Математические модели Интернета. “Квант” №4. С. 12-16. – URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431792
12. Meleshko Ye. (2019) Computer model of virtual social network with recommendation system. Scientific journal Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, Kharkiv: NURE, Issue 2(8). P. 80-84
13. Робинсон Я., Вебер Д., Эйфрем Э. (2016) Графовые базы данных: новые возможности для работы со связанными данными. ДМК Пресс, Москва. 256 с.
14. Neo4j Documentation (2021), Official website of the graph database Neo4j. URL: <https://neo4j.com/docs/>
15. Міхав В.В., Мелешко Є.В., Якименко М.С. (2020) Метод зберігання даних рекомендаційної системи на основі бінарних діаграм рішень. Системи управління, навігації та зв'язку. ПНТУ, Полтава. Т. 2 (60). С. 85-89.
16. Міхав В.В., Мелешко Є.В., Шимко С.В. (2021) Методи та структури даних для реалізації бази даних рекомендаційної системи соціальної мережі. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: збірник наукових праць ЦНТУ, Кропивницький. Вип. 4(35). С. 8-16.

Received (Надійшла) 15.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

The methods of data storing of a recommendation system based on linked lists

V. Mikhav, Ye. Meleshko, M. Yakymenko, D. Bashchenko

Abstract. The goal of this work is to research and comparative analysis of methods and data structures for storing information of a recommendation system in order to compare the effectiveness of their use in terms of time and memory costs. The choice of the method for presenting the data used by the recommendation system is important since an effective way of building a database for the operation of such a system can reduce the amount of resources required and increase the number of available algorithms for generating lists of recommendations, and is also important from the point of view of the quality of its work, speed, scalability, and ease of performing basic operations with data to generate recommendations. The presence of a large number of different methods for implementing databases and presenting information that can be used to build recommendation systems necessitates a comparative analysis and selection of the optimal method and data structure for storing information in them. In the work, research was carried out of various data structures that can be used to store information of the recommender system. In particular, such as linked list, unrolled linked list, hash table, B-tree, B+-tree and binary decision diagram. To carry out experiments comparing the effectiveness of using various data structures in terms of time and memory costs, a computer model of a simplified recommendation system was developed, in which three main entities were distinguished - an agent, a session, and an object. The best results were obtained with data storing methods using unrolled and inverted unrolled linked lists. Therefore, it was decided to also conduct an additional series of experiments with these data structures for different sizes of the list block. The unrolled list showed the best results in terms of memory used and session generation time. The inverted unrolled list showed an advantage in the generation of recommendations.

Keywords: recommendation system, databases, computer simulation model, linked list, unrolled linked list, hash table, B-tree, B+-tree, binary decision diagram.

В. М. Ткачов, К. Р. Гальченко, А. А. Коваленко, О. А. Єрошенко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

КРИТЕРІЙ ВИБОРУ СТАНДАРТУ БЕЗПРОВІДНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ВИСОКОМОБІЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. В статті розглянуто особливості функціонування високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості середовища передачі даних, його впливу на швидкість передачі даних між вузлами та методику визначення критеріїв вибору різних стандартів безпроводної передачі даних. **Метою** статті є розробка критеріальної бази селективного вибору стандартів безпроводної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою. Отримані **результати** дозволяють: виокремити науково-прикладну задачу розробки критеріальної бази селективного вибору стандартів безпроводної передачі даних у окремий клас задач у області рухомих комп'ютерних мереж; продовжити подальший розвиток методики підвищення живучості високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості пропускної здатності каналів зв'язку між вузлами; вирішити задачу розрахунку нестационарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних вузлами високомобільних комп'ютерних мереж. Дослідження дозволяють зробити **висновки**, що запропоновані критерії, за результатами модельного експериментування, дають ефект 15% скорочення часу на передачу обсягу даних в умовах нормального функціонування високомобільної комп'ютерної мережі у гетерогенному просторі та динамічною зміною відстані між вузлами мережі за наперед заданою траєкторією руху. Сформульовано напрями подальшої роботи, зокрема запропоновано проведення ряду прикладних експериментів для виявлення закономірності функціонування реальних високомобільних мереж в умовах обмеженого енергетичного запасу ходу вузлів та впливу зовнішнього середовища на нього.

Ключові слова: високомобільна комп'ютерна мережа, критерій, стандарт передачі даних, IEEE 802.11.

Вступ

Постановка проблеми. Останнім часом високомобільні комп'ютерні мережі на платформі безпілотних літальних апаратів набули широкого застосування у різних галузях людської діяльності: промисловість, сільське господарство, військова справа тощо [1-2].

Одними з найпоширеніших проблем функціонування високомобільних комп'ютерних мереж є їх живучість, обмеженість запасу ходу вузлів, масштабованість. Частковим рішенням цих проблем присвячено ряд наукових праць теоретичного та прикладного характеру [3-5].

Однак, всі ці проблеми об'єднують, в першу чергу, енергетична складова. Адже, на виконання основної функції високомобільної комп'ютерної мережі, на етапі її планування [3], необхідно врахувати всі енергетичні затрати, які носять ймовірнісний характер та запланувати резервне значення енергетичного ходу вузла. Тому, як правило, розрахунки енергетичного запасу проводяться з огляду ймовірно-найгіршого сценарію розвитку ситуації під час функціонування такої мережі. З іншої сторони це має відображення у пролонгаційних стратегіях функціонування високомобільної мережі – чим оптимістичніший сценарій, тим більша ймовірність виконання основної (а також додаткових) функцій мережею. Класичним прикладом таких сценаріїв є подовження експлуатаційного часу функціонування космічних апаратів, які виконують відділені місії та для яких не передбачається повернення на Землю [6-7].

Основна функція високомобільної комп'ютерної мережі, у більшості випадків, полягає у рестрації, тимчасовому зберіганні та передачі даних [3]. З метою оптимального використання енергетичного запасу ходу вузлів високомобільної комп'ютерної

мережі цікавим є саме процес передачі даних, який реалізується в межах одного-двох технологічних рішень: частота передачі даних (час автономної роботи вузла) та стандарт передачі даних.

Ці рішення сильно пов'язані: в залежності від стандарту передачі даних дані можна передавати протягом часу, який визначається пропускною здатністю каналу зв'язку. При цьому, рухомість вузлів, постійно змінювана відстань між ними – вносить свої особливості у використання того чи іншого стандарту передачі даних. Саме тому більшість мобільних платформ використовують, як правило, один стандарт передачі даних.

Підхід, побудований на використанні різних стандартів безпроводної передачі даних, в залежності від стану середовища, власне, мережі або конкретного вузла високомобільної комп'ютерної мережі – носить назву селективного. Використання селективного підходу, де задіяні різні технічні рішення для роботи різних стандартів безпроводної передачі даних є перспективним напрямом у вирішенні проблеми раціонального використання енергетичного запасу вузла високомобільної комп'ютерної мережі. Однак на теперішній час доволі слабо розвита концепція даного рішення.

Таким чином, актуальною є науково-прикладна проблема забезпечення надійної та швидкої передачі даних в високомобільних комп'ютерних мережах шляхом введення селективності стандартів за відповідними інтерфейсами, за якими може здійснюватися передача даних між вузлами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед публікацій, у яких порушується зазначена проблема та пропонуються рішення, найбільш цікавими є наступні.

У роботі [8] автором, за результатами проведених досліджень, визначено основні критерії, за якими

здійснюється вибір безпроводних мереж, для використання у системах автоматизації технологічних процесів у сфері нафтогазового комплексу. Автор оперує поняттями «жорстка детермінованість поведінки» та «забезпечення функцій реального часу», при цьому важливим критерієм при виборі стандарту передачі даних в конкретних мережах, які відповідають введеним визначенням, на думку автора, є критерій «відкритості мережі». Основний довід полягає у інтеграції в єдину систему технологічних пристроїв передачі даних (полінгові мережі) від різних виробників за рахунок використання принципів відкритих систем. Однак, хоча автор акцентує увагу на створенні засад до формування методичної бази щодо проведення вибору безпроводних спеціалізованих цифрових мереж (та стандартів безпроводної передачі) для об'єктів вузької спрямованості – нафтогазового комплексу, – в роботі не зазначено, яким чином має бути організоване середовище обміну даними у разі унеможливлення використання вказаних рішень у разі зміни, наприклад, проникної здатності самого середовища. Недоліком вказаного підходу є те, що у критичній інфраструктурі нафтогазового комплексу, про яку пише автор, відсутні заходи щодо функціонування мережі у аварійних ситуаціях.

У науковій публікації [9] представлено опис архітектури літаючої комп'ютерної мережі, що швидко розгортається, для екстрених служб, яка пропонується використовуватися у разі стихійного лиха. Розглянуто різні сценарії застосування БПЛА при груповій взаємодії, а також особливості використання різних стандартів передачі даних. Наведено обґрунтування вибору протоколів для організації взаємодії між вузлами в розглянутій мережі. Для запропонованої архітектури літаючої мережі, що швидко розгортається, для екстрених служб розглянуті та описані основні елементи, сценарії застосування: для збору даних з сенсорних полів і надання послуг зв'язку з передачі даних для цілей передачі голосової інформації, представлений підхід щодо використання прив'язаних висотних безпілотних платформ для організації високошвидкісного безпроводного зв'язку на великій відстані прямої видимості. У якості головного недоліку є те, що автори не акцентують увагу при такому розмаїтті технологічних застосунків на проблему обмеженого ходу вузлів літаючих мереж. Також відсутні рекомендації з забезпечення надійності каналів передачі даних між вузлами, які покидають зону видимості для обміну даними в межах стандартів передачі даних, які заявлені у роботі.

У роботі [10] авторами пропонується для використання у сферах високоточного землеробства, управління угіддями і рослинництва безпроводні технології з використанням концепту IoT, у тому числі на мобільній платформі.

В статті були розглянуті різні способи передачі даних, їх переваги та недоліки в енергетичному плані, залежність від зовнішніх факторів, радіус дії та способу передачі інформації.

Основний недолік запропонованого підходу полягає у наявності невирішеної задачі масштабованості вказаного технологічного рішення та відсутності

стратегії функціонування такої мережі у разі її реконфігурації, внаслідок виходу з ладу опорних вузлів.

Мета статті є розробка критеріальної бази селективного вибору стандартів безпроводної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою.

Основна частина

Нехай високомобільна комп'ютерна мережа Γ складається з ℓ_q -вузлів, де $q=1,2,\dots,Q$. Кожен із ℓ_q -вузлів містить такі обов'язкові компоненти як: підсистему реєстрації інформації, сховище проміжних даних, модулі прийому-передачі та підсистему прийняття рішень (рис. 1).

Функціональна сутність зводиться до наступної послідовності дій, яка описує можливі сценарії функціонування високомобільної комп'ютерної мережі, що не протирічить [3]:

- вузол через інтерфейс передачі службових даних ініціює або отримує вказівку на передачу корисних даних за одним із інтерфейсів;

- за заданою умовою на етапі проектування вузла [3] відбувається перевірка можливості передачі корисних даних через більш швидкісний інтерфейс, згідно стандарту безпроводної передачі даних, за яким він закріплений;

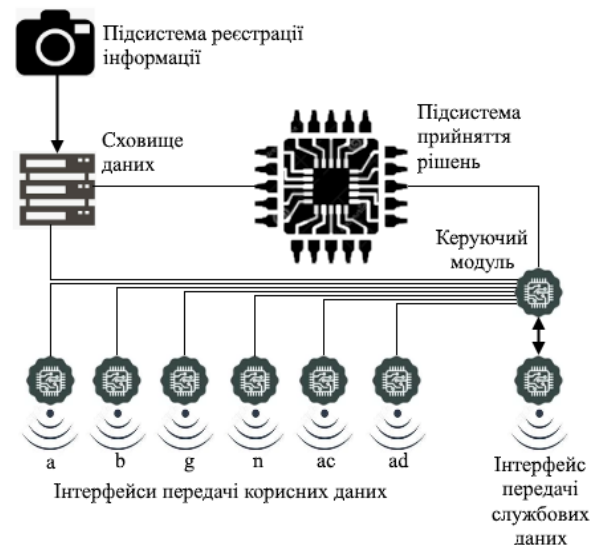


Рис. 1. Фрагмент структури вузла високомобільної комп'ютерної мережі

- підсистема прийняття рішень, згідно закладених алгоритмів на етапі проектування вузла [3], в залежності від поточного стану енергетичного запасу вузла, приймає рішення про передачу корисних даних через один із інтерфейсів.

В загальному вигляді формулювання критеріальної бази для реалізації функційної сутності може бути досягнуто побудовою загальної схеми марківського процесу.

Аналітичні вирази та конструктивні схеми обрання інтерфейсу передачі корисних даних для різних показників енергетичного запасу вузлів можуть

бути отримані для тих випадків, коли всі розподіли напрацьовані до відмови інтерфейсу через нульову ефективність роботи (100% втрат пакетів даних) і часу на визначення робочого інтерфейсу для поновлення передачі даних в умовах динаміки руку вузла у просторі – є експоненційними, тобто процес функціонування вузла можна описати однорідним марківським процесом.

Варто зазначити, що припущення про експоненційність розподілу не завжди може бути виправданим. Особливо це стосується розподілу часу на визначення робочого інтерфейсу для поновлення передачі даних, оскільки припущення про незалежність того часу, який витрачається на визначення інтерфейсу підсистемою прийняття рішень відносно часу, який уже було витрачено (за умови багатоітераційного пошуку відповідного інтерфейсу) – не завжди може бути правдивим. Але, якщо в середньому напрацьовання до нульової ефективності значно більше часу, який витрачається на визначення нового інтерфейсу передачі даних, то більшість показників енергетичного запасу вузлів не залежать від характеру розподілу часу на поновлення передачі даних через один із інтерфейсів.

В основі критерію готовності до передачі даних за одним із визначених інтерфейсів лежить визначення нестационарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних. Необхідно адаптувати відому методику визначення даного коефіцієнта [11] до поставленої задачі визначення критерія.

Нехай Ψ_z – інтерфейс передачі корисних даних, де $z = a, b, g, n, ac, ad$ – стандарт передачі даних, який характеризується своїми енергетичними затратами. Тоді $^- \Psi_z$ – стан інтерфейсу, в якому його використання неможливе через нульову ефективність, а $^+ \Psi_z$ – стан інтерфейсу, коли його ефективність, відповідно до [12], дозволяє його використання. Позначимо через $\Psi_z(k)$ множини станів інтерфейсу, за яких можливий перехід до використання іншого інтерфейсу з більшим показником ефективності, тоді як $\psi_z(k)$ – множина станів інтерфейсу, який є найбільш ефективним для його використання.

Для кожного стану k ймовірність перебування вузла у стані передачі даних через один з інтерфейсів визначається як:

$$p'_k = \sum_{i \in \Psi(k)} \Delta_{ik}(t) - p_k(t) \sum_{i \in \psi(k)} \Delta_{ki}, \quad (1)$$

де знак суми говорить про складання за всіма станами, які можуть бути у відповідних множинах;

Δ_{ik} – інтенсивність переходу інтерфейсу між станами з різними показниками ефективності його роботи;

$p_k(t)$ – ймовірність перебування вузла у стані передачі даних через один з інтерфейсів у момент часу t .

Для кожного переходу (перемикання) між інтерфейсами та відповідною кількістю станів можна

скласти відповідну o -кількість рівнянь. Для визначення нестационарного коефіцієнту готовності інтерфейсу до передачі даних необхідно взяти $o-1$ рівнянь (1) і одне додаткове рівняння $\sum_{i=1}^o p_i(t) = 1$, а та-

кож початкові умови у вигляді $p_i(0) = p_i$, де нуль показує ймовірність стану у нульовий (початковий) момент часу функціонування вузла. Тобто, якщо відомо, що у момент часу $t=0$ вузол мережі знаходиться у фіксованому стані взаємодії з іншими вузлами, то $p_i(0) = 1, p_k(0) = 0$ для решти станів, коли може бути задіяний інтерфейс для передачі даних ($i \neq k$).

Для знаходження показника енергетичного запасу ходу за вказаним критерієм вибору стандарту безпровідної передачі даних, вираз (1) необхідно перетворити у алгебраїчну форму шляхом застосування перетворення Лапласа (для $o-1$ рівнянь):

$$\begin{cases} s\varphi_k(s) - p_k = \sum_{i \in \Psi(k)} \Delta_{ik} \varphi_i(s) - \varphi_k(s) \sum_{i \in \psi(k)} \Delta_{ki}; \\ \sum_{i=1}^o s\varphi_i(s) = 1, \end{cases} \quad (2)$$

де $\varphi_i(s) = \int_0^{\infty} p_i(t)e^{-st} dt$ – перетворення Лапласа для $p_i(t)$.

Для зручності проведення розрахунків, необхідно перетворити (2) у такий вигляд:

$$\begin{cases} b_{11}\varphi_1(s) + b_{12}\varphi_2(s) + \dots + b_{1o}\varphi_o(s) = c_1; \\ b_{21}\varphi_1(s) + b_{22}\varphi_2(s) + \dots + b_{2o}\varphi_o(s) = c_2; \\ \dots \\ b_{u1}\varphi_1(s) + b_{u2}\varphi_2(s) + \dots + b_{uo}\varphi_o(s) = c_u, \end{cases} \quad (3)$$

де b_{uo} – коефіцієнт при o -му члені в u -му рядку;

c_u – u -й вільний член.

Систему рівнянь (3) можна вирішити, застосувавши правило Крамера [12]:

$$\varphi_i(s) = \frac{D_i(s)}{D(s)}, \quad (4)$$

де $D(s)$ – визначник системи рівнянь;

$D_i(s)$ – визначник системи рівнянь, в якому i -й стовпчик замінено на стовпчик вільних членів.

Далі знаходимо перетворення Лапласа нестационарного коефіцієнта готовності до передачі даних за одним із визначених інтерфейсів:

$$\varphi(s) = \sum_{i \in ^+ \Psi_z} \varphi_i(s) + \frac{1}{D(s)} \sum_{i \in ^+ \Psi_z} D_i(s). \quad (5)$$

Для перетворення отриманого перетворення Лапласа необхідно виконати пfреу послідовність дій.

Крок 1. Візьмемо рівняння:

$$\varphi(s) = \frac{Y_0 + Y_1s + Y_2s^2 + \dots + Y_v s^v}{X_0 + X_1s + X_2s^2 + \dots + X_{v+1}s^{v+1}}, \quad (6)$$

де X, Y – відомі коефіцієнти.

Крок 2. Знаходимо корені поліному:

$$X_0 + X_1s + X_2s^2 + \dots + X_{v+1}s^{v+1} = 0. \quad (7)$$

Нехай ці корені відповідають значенням x_1, x_2, \dots, x_{v+1} . Це означає, що:

$$X_0 + X_1s + \dots + X_{v+1}s^{v+1} = \prod_{k=1}^{v+1} (s - x_k). \quad (8)$$

Крок 3. Перетворюємо $\varphi(s)$ у форму простих дробів:

$$\varphi(s) = \frac{\chi_1}{i - x_1} - \frac{\chi_2}{i - x_2} + \dots + \frac{\chi_{v+1}}{i - x_{v+1}}, \quad (9)$$

де χ – шукані коефіцієнти.

Крок 4. Перетворюємо $\varphi(s)$ у розширену форму:

$$\varphi(s) = \frac{\sum_{k=1}^o \chi_j \prod_{i \neq k} (s - x_i)}{(s - x_1) \times (s - x_2) \times \dots \times (s - x_{v+1})} \rightarrow \rightarrow \varphi(s) = \frac{\varphi_0 + \varphi_1s + \varphi_2s^2 + \dots + \varphi_v s^v}{(s - x_1) \times (s - x_2) \times \dots \times (s - x_{v+1})}. \quad (10)$$

де φ виражені через різні χ та x .

Крок 5. Поліноми (6) та (10) рівні тоді і тільки тоді, коли $Y_0 = \varphi_0, Y_1 = \varphi_1, \dots, Y_v = \varphi_v$. Тоді з цих рівнянь визначають шукані коефіцієнти χ .

Крок 6. Після знаходження φ_k до $\varphi(s)$ у вигляді (9), можна застосувати зворотнє перетворення Лапласа: з виразу

$$\varphi(s) = \sum_{k=1}^{m+1} \frac{\chi_k}{s - x_k} \quad (11)$$

можна визначити коефіцієнт

$$K(t) = \sum_{k=1}^{m+1} \chi_k e^{-x_k t}. \quad (12)$$

Однак, якщо $\varphi(s)$ має кратні корені знаменника, наприклад k рівних значень x_k , то (9) матиме наступний вигляд:

$$\varphi(s) = \frac{\chi_1}{i - x_1} + \dots + \frac{\chi_k}{(i - x_k)^\xi} + \dots + \frac{\chi_{v+1}}{i - x_{v+1}}, \quad (13)$$

де ξ – кратність кореня x_k . Тоді до членів виду $\frac{\chi_k}{(i - x_k)^\xi}$ застосовується відповідне зворотнє перетворення Лапласа.

Таким чином, критерії вибору стандарту безпроводної передачі даних висококомобільної комп'ютерної мережі та ступінь актуальності критерія в залежності від виконуваної основної функції вузлом мережі відповідно до отриманих коефіцієнтів (12) можна звести у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Критерії вибору стандарту безпроводної передачі даних

Критерій вибору стандарту передачі даних	Ступінь актуальності критерія в залежності від виконуваної основної функції вузлом мережі	
	Джерело даних	Ретранслятор
Проникна здатність середовища	Висока	Середня
Кількість помилок при передачі даних	Висока	Висока
Мережна затримка	Висока	Низька
Еластичність трафіку	Середня	Висока
Інтенсивність потоку даних	Середня	Низька
Запас ходу вузла	Висока	Середня
Наповненість сховища даних	Висока	Відсутня

Моделльний експеримент реалізований у середовищах моделювання GNS3 та ns-3. У якості вихідних даних задано траєкторію руху двох пар вузлів висококомобільної комп'ютерної мережі, між якими відбувається обмін даними. Вузли рухаються у середовищі з різною проникною здатністю для стандартів безпроводної передачі даних. Фрагмент програмних налаштувань знаходиться в [13].

Згідно умов експерименту, час на виконання основної функції реєстрації інформації та передачі її в базовий стаціонарний вузол – 600 секунд. Інтенсивність передачі даних завжди максимальна (задача потокової передачі великих обсягів даних). Стандарти, доступні до вибору для передачі даних – згідно рис. 1.

На рис. 2 відображено поведінкову траєкторію вузлів в залежності від умов їх функціонування. Надписи над точками показують стандарти, які діють у обраний момент часу для обміну даними.

На рис. 3 показано динаміку запасу ходу в залежності від траєкторії руху вузлів у середовищі та передачі даних за допомогою обраного стандарту.

Аналіз отриманих результатів показує, що в межах виконання основної функції висококомобільною комп'ютерною мережею шляхом зміни стандарту безпроводної передачі даних згідно розробленої критеріальної бази, можна забезпечити надійну та швидку передачу даних в висококомобільних комп'ютерних мережах.

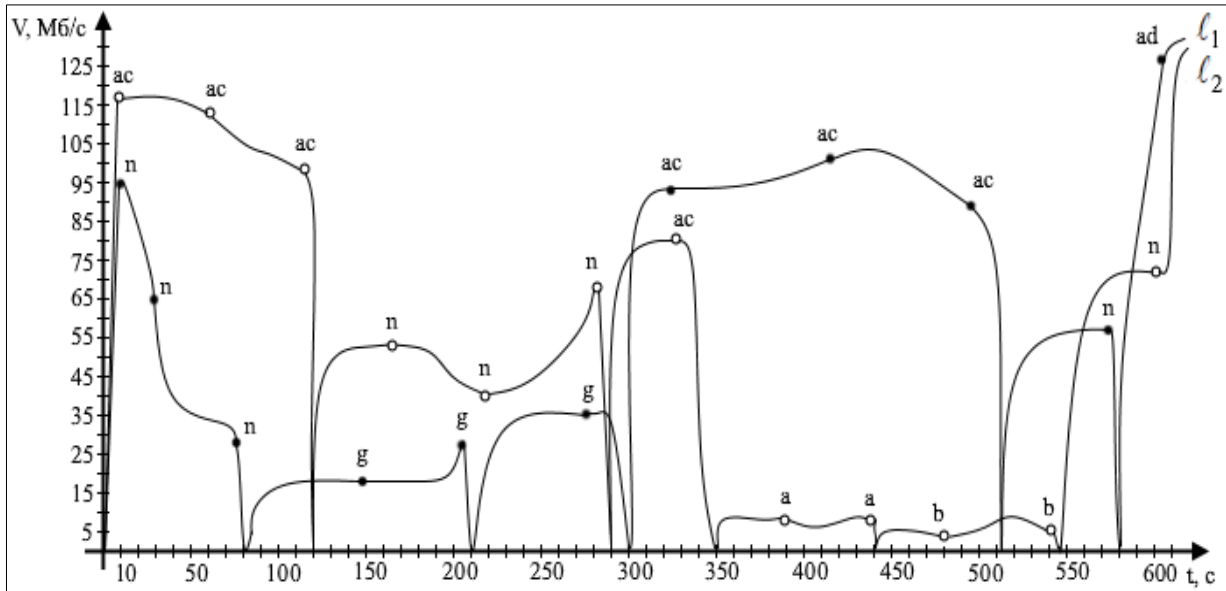


Рис. 2. Поведінкова траєкторія вузлів l_1 та l_2

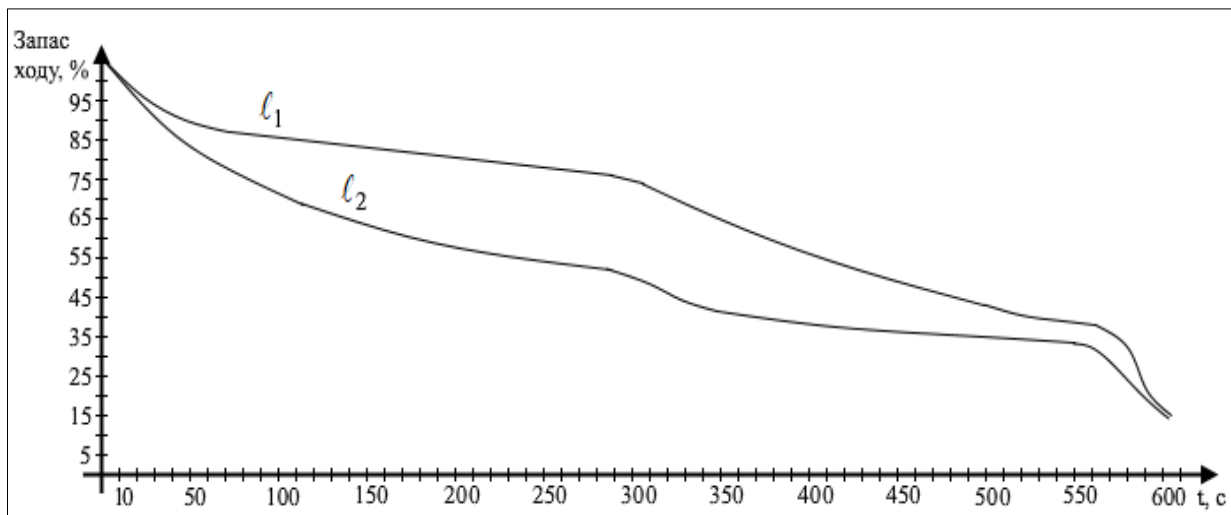


Рис. 3. Динаміка запасу ходу вузлів l_1 та l_2

Отриманий ефект складає до 15% скорочення часу на передачу обсягу даних в умовах нормального функціонування високомобільної комп'ютерної мережі у гетерогенному просторі та динамічною зміною відстані між вузлами мережі.

Технічно це реалізується шляхом введення селективності стандартів за відповідними інтерфейсами, за якими може здійснюватися передача даних між вузлами мережі.

Отже, розроблений теоретичний апарат, за якими визначаються критерії вибору стандарту безпроводної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах дає можливість при синтезі структури таких мереж отримати якісні характеристики з метою забезпечення мінімальних затримок при передачі даних в умовах обмеженого енергетичного запасу вузлів на мобільній платформі.

Це дозволяє мінімізувати ймовірність відмови функціонування вузла як в режимі джерела даних так і у режимі ретранслятора.

Висновки

В результаті проведених досліджень отримано наступні результати:

- сформульована науково-прикладна задача розробки критеріальної бази селективного вибору стандартів безпроводної передачі даних у високомобільних комп'ютерних мережах в залежності від стану середовища передачі даних та віддаленості вузлів між собою;

- отримала подальший розвиток методика підвищення живучості високомобільних комп'ютерних мереж в умовах мінливості пропускної здатності каналів зв'язку між вузлами;

- вирішено задачу розрахунку нестационарного коефіцієнта готовності відносно всіх інтерфейсів передачі корисних даних вузлами високомобільних комп'ютерних мереж.

У якості подальшої роботи за даним напрямом пропонується провести ряд прикладних експериментів

з метою виявлення прихованих закономірностей функціонування реальних високомобільних мереж від оточуючого середовища в межах обмеженого енергетичного за- паса ходу вузлів [14–16] та з метою розширення запропонованого теоретичного апарату визначення критеріїв вибору стандартів безпроводної передачі даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. H. Shakhatareh et al., "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 48572–48634, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
2. Gonzalez, L., Montes, G., Puig, E., Johnson, S., Mengersen, K. & Gaston, K. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Artificial Intelligence Revolutionizing Wildlife Monitoring and Conservation. *Sensors* 14, 13778–13793 (2016).
3. Ткачов В.М. Оптимізація мережного алгоритму функціонування комп'ютерних мереж підвищеної живучості на мобільній платформі на етапі їх проектування / В.М. Ткачов, А.А. Коваленко, Т.Г. Фесенко // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2021. – Т. 3 (65). – С. 143-147. – doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.143>.
4. Ткачов В.М. Метод забезпечення живучості високомобільної комп'ютерної мережі / В.М. Ткачов, А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, Я.С. Ні // Сучасні інформаційні системи. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – Т. 5., № 2. – С. 159-165. – doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.24
5. L. Li, Z. Liu and C. Zhou, "A Model Checking Based Survivability Evaluation Framework of Wireless Network," 2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), 2019, pp. 715-721, doi: 10.1109/ICCSN.2019.8905269.
6. Ткачев В.Н. Анализ применимости метода передачи данных с промежуточным хранением для обмена данными с удаленными космическими аппаратами / В.Н. Ткачев, А.А. Коваленко, В.О. Лебедев // Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем (МЕІС-2015) Дніпропетровськ, 25–27 листопада 2015 р. – 148-149 с.
7. Ерешко М. В., Борисов А. В. Концептуальные сценарии развития наземной космической инфраструктуры приёма целевой информации перспективной орбитальной группировки дистанционного зондирования земли // *Космическая техника и технологии*. – 2021. – № 2 (33). – С. 119-129.
8. Бабчук С. М. Критерії вибору спеціалізованої безпроводної мережі для об'єктів нафтогазового комплексу // *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2017. – № 3. – С. 160-164.
9. Динь Ч. З., Киричек Р. В. Архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных случаев // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2020. Том 8. № 4. С. 10–22. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-10-22.
10. Poliakov, O. V., & Onyukienko, Y. O. (2020). Вибір бездротових технологій для застосування в сільському господарстві. *Електронна та Акустична Інженерія*, 3(2), 20–24. <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.2.199984>
11. Рахман П. А. Методика расчета коэффициента оперативной готовности систем управления в моделях надежности на базе цепей Маркова // *Экономика и менеджмент систем управления*. – 2018. – № 4. – С. 90-99.
12. Ушаков А.П. Надежность технических систем. – М.: Радио и связь, 1985 – 297 с.
13. Програмні налаштування для експерименту 254-5147. Кафедра електронних обчислювальних машин ХНУРЕ: веб-сайт. URL: https://dec.nure.ua/.../science/research-results/tk/2021/04/15/patents/inrt_red_05875584_c154_254-5147.zip (дата звернення 01.06.2021 р.)
14. Кучук Г.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / Г.А. Кучук, А. А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
15. Кучук Г.А. Метод розподілу потоків даних в мультисервісній мережі з безпроводовою компонентою / Г.А. Кучук, Н.Х. Раковська, С.О. Загайнов, О.С. Савченко. // *Системи обробки інформації*. – 2014. – Вип. 4(120). – С. 164-169.
16. Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города» // *Информационные технологии и телекоммуникации*. – 2017. – Т. 5. – № 1. – С. 105-113.

Received (Надійшла) 24.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Criteria for selecting a standard for wireless data transfer in high-mobile computer networks

V. Tkachov, K. Halchenko, A. Kovalenko, O. Yeroshenko

Abstract. The article discusses the features of the functioning of high-mobile computer networks in the context of the variability of the data transmission medium, its influence on the speed of data transmission between nodes and the methodology for determining the criteria for choosing various standards for wireless data transmission. The purpose of the article is to develop a criterion base for the selective selection of standards for wireless data transmission in high-mobile networks, depending on the state of the data transmission medium and the distance between nodes. The results obtained allow: to single out the scientific and applied problem of developing a criterion base for selective selection of wireless data transmission standards into a separate class of problems in the field of moving computer networks; to continue further development of the methodology for increasing the survivability of high-mobile computer networks in the context of the variability of the bandwidth of communication channels between nodes; to solve the problem of calculating the non-stationary availability factor with respect to all interfaces for transmitting useful data by nodes of high-mobile computer networks. The studies allow us to conclude that the proposed criteria, based on the results of model experimentation, give the effect of 15% reduction in the time for transferring the volume of data under the conditions of normal functioning of a high-mobile computer network in a heterogeneous space and a dynamic change in the distance between network nodes with a predetermined trajectory of movement. The directions of further work are formulated, in particular, it is proposed to conduct a number of applied experiments to reveal the regularities of the functioning of real high-mobile networks in conditions of a limited energy reserve of the nodes and the impact of the external environment on it.

Keywords: high-mobile computer network, criterion, data transmission standard, IEEE 802.11.

Т. В. Філімончук, А. О. Плюта

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ, ЩО ОРІЄНТОВАНА НА ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ

Анотація. Предметом дослідження є інформаційна технологія, що орієнтована на онлайн-навчання. Метою даної статті є визначення структури інформаційної системи школи. Було отримано наступні **результати**. Наведена структура інформаційної системи, що орієнтована на онлайн-навчання, та обґрунтовано її розподіл на окремі модулі, які зможуть охопити всі необхідні функції для вчителів та учнів, допоможуть створити та налагодити віддалений навчальний процес. Функції, які буде реалізовано в цих модулях, містять методи, що орієнтовані на управління персональними даними, навчальними матеріалами, оповіщенням, оцінюванням презентації робіт, статистичного аналізу та збору інформації, гнучкого навчання. **Висновки.** Використовуючи вище згадані функції, можливо створити повну заміну звичної для кожного користувача школи та перетворити її на інформаційну систему з усіма необхідними інструментами для подальшого функціонування.

Ключові слова: онлайн-навчання, онлайн-школа, застосунок, проектування, інтерфейс користувача.

Вступ

Постановка задачі у загальному вигляді. Сьогодні, як ніколи, стала актуальною тема онлайн-освіти, а саме розробка інформаційних систем для онлайн-освіти школярів.

За роки становлення шкільної системи освіти всі її учасники почали потребувати більш різноманітних інструментів для чіткого функціонування всередині цієї складної системи. Таким чином, створення інформаційної системи онлайн-освіти для шкільних закладів є складною задачею, оскільки потрібно як реалізувати значну частину існуючих функцій, так і закласти нові, які потрібні для її чіткого функціонування в комп'ютерних системах, що працюють в мережі Інтернет.

Для застосунок, який розробляється, необхідно створити простий, інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс користувача для кожного учасника, враховуючи багато чинників, таких як: навички користування комп'ютерними системами, вік, різні фізичні вади, швидкість інтернет-з'єднання, потужність комп'ютеру та ін. Також необхідно реалізувати механізми роботи шкільної системи, такі як: створення онлайн-конференції заняття, журналу відміток присутності, ведення онлайн-журналу з оцінками, домашніми завданнями.

Доречним в даній системі буде присутність переліку тем занять (з детальним викладенням кожної з них), розкладу занять, онлайн-бібліотеці з необхідними підручниками та рекомендованими для самостійного перегляду завантаженнями, записами та можливістю редагування уроків для осіб, які мають на це відповідні права (завучі, викладачі).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Шкільна система управління навчанням або віртуальне шкільне навчальне середовище (VSLE – Virtual School Learning Environment) [1] – це програма або веб-технологія для створення, зберігання та поширення навчальних матеріалів, відстеження успішності, проведення оцінювання, а також адміністрування шкільного навчання. Найбільш популярними VSLE на сьогодні є:

– Moodle [1]: безкоштовна система навчання. Її можна вільно скачувати, встановлювати та змінювати. Вона відноситься до систем з відкритим вихідним кодом, що дозволяє багатьом програмістам створювати додаткові, дуже корисні розширення або модулі;

– Edmodo [2]: логіка роботи в даному додатку дуже проста. Вчитель створює навчальний курс, який має своє унікальне посилання та код, які потрібно повідомити іншим учасникам освітнього процесу. Курс може мати такі навчальні елементи, як записи (у вигляді тесту або файлів), тести, завдання та опитування. Також можливо імпортувати контент з інших сервісів, наприклад новинні стрічки зі шкільного сайту, відео з YouTube, контент з інших сервісів. Edmodo має тільки базовий функціонал для VSLE, який включає прості та потрібні елементи: календар для фіксації навчальних подій, журнал для виставлення оцінок, можливість перевірки домашнього завдання та ін.;

– Google Classroom [3]: сервіс надає не зовсім класичну систему дистанційного навчання, це скоріше стрічка спільної роботи – той же Google для освіти, тільки зібраний в одному місці. Тому Google Classroom не ефективний, ним не можна особливо здивувати, а організація по-справжньому ефективної спільної роботи вимагає великого зусилля від педагога та найголовніше – значної перебудови навчального процесу;

– Яндекс.Учебник [4]: система націлена саме на заміну звичної моделі освіти. Вона має набір навчальних програм по базовим шкільним предметам, але система має вже готові курси, та не надає можливості створити свої.

Метою статті є розробка структури інформаційної системи, що орієнтована на онлайн-навчання, та розподіл її на ряд модулів, які будуть охоплювати усі необхідні функції для вчителів та учнів, допоможуть створити та налагодити віддалений навчальний процес.

Дослідження типів VSLE

На сьогоднішній день існують різні моделі дистанційного навчання, і організація навчання в дис-

танційній формі будується по-різному, в залежності від моделі. Крім того, оскільки це система навчання, то важливо мати на увазі особливості концепції навчання, яка обумовлює відбір та структурування змісту навчання, відбір методів, організаційних форм, засобів навчання. Від традиційних форм таке навчання відрізняють наступні характерні риси [5]:

– гнучкість: можливість займатися в зручний для себе час, в зручному місці та темпі, використовувати не регламентований відрізок часу для освоєння дисципліни;

– модульність: можливість з існуючого набору незалежних навчальних курсів (модулів) формувати навчальний план, що відповідає індивідуальним або груповим потребам;

– паралельність: у цьому випадку навчання проходить паралельно з позакласною діяльністю;

– охоплення: можливість одночасного звернення до багатьох джерел навчальної інформації (електронним бібліотекам, банкам даних, базам знань та ін.) великої кількості учнів, а також спілкування через мережі зв'язку з іншими учнями чи викладачами;

– технологічність: використання в освітньому процесі новітніх досягнень інформаційних та телекомунікаційних технологій, які сприяють просуванню людини у світовий постіндустріальний інформаційний простір;

– соціальна рівноправність: рівні можливості отримання освіти незалежно від місця проживання, стану здоров'я, елітарності та матеріальної забезпеченості учня;

– інтернаціональність: експорт та імпорт світових досягнень на ринку освітніх послуг.

Нова роль викладача VSLE розширює й оновлює роль вчителя, який повинен координувати пізнавальний процес, постійно вдосконалювати курси, які він викладає, підвищувати творчу активність та кваліфікацію відповідно до нововведень та інновацій.

Позитивний вплив робить VSLE і на учня, підвищуючи його творчий та інтелектуальний потенціал за рахунок самоорганізації, прагнення до знань, уміння взаємодіяти з комп'ютерною технікою та самостійно приймати відповідальні рішення.

Якість дистанційної освіти не поступається якості очної форми одержання знань, а поліпшується за рахунок залучення кадрового професорсько-викладацького складу вищої кваліфікації та використання в навчальному процесі найкращих навчально-методичних видань та контролюючих тестів по тим чи іншим дисциплінам.

Можна виділити три моделі дистанційного навчання [6], які базуються на:

– інтерактивному телебаченні;

– комп'ютерних телекомунікаційних мережах (регіональних, глобальних) з різними дидактичними можливостями в залежності від конфігурацій (текстових файлів, мультимедійних технологій, відеокоференцій);

– поєднанні технологій компакт-дисків та мережі Інтернет.

Перевага навчання, що базується на інтерактивному телебаченні, полягає в його можливості безпосереднього візуального контакту з аудиторією, яка перебуває на різних відстанях від викладача. Його негативна сторона полягає в тому, що при такому навчанні практично тиражується звичайне заняття, будь воно побудовано за традиційною методикою або з використанням сучасних педагогічних технологій. Це може бути допустимо тільки при демонстрації унікальних методик, лабораторних дослідів, коли викладачі та учні можуть стати свідками та учасниками використання нових знань, методів у своїй області, нових інформаційних технологій, взяти участь в дискусії. Дана форма дистанційного навчання інтерактивна і може вважатися досить перспективною в системі підвищення кваліфікації та підготовки фахівців. Але зараз це надзвичайно дорого технології.

Наступний засіб організації дистанційного навчання передбачає використання комп'ютерних телекомунікацій в режимі електронної пошти, телеконференцій, інформаційних ресурсів регіональних мереж та мережі Інтернет. Це самий поширений та недорогий засіб дистанційного навчання. При його організації передбачається застосування новітніх засобів телекомунікаційних технологій.

Третій засіб, передбачає використання компакт-дисків в якості базового електронного підручника. Він містить в собі великі дидактичні можливості для вузівської, шкільної освіти та для підвищення кваліфікації фахівців. Перевага компакт-диска в тому, що він поєднує в собі такі якості: інтерактивність, мультимедійність, містить великий обсяг інформації та за рахунок цього оптимізує процес дистанційного навчання.

Вся система навчання в дистанційній формі, як і в очній, будується на спілкуванні. Спілкування лежить в основі формування комунікативної компетенції, і від цього відмовлятися не можна ні при якій формі навчання. Тому, перш за все, слід визначитися з цілями навчання [7-10]. Якщо задачі розвитку розмовної діяльності не стоять перед учнями, то можливо використовувати мережну модель навчання. Мається на увазі навчання таким видам розмовної діяльності, як читання, письму, навіть аудіюванню. Наприклад, організація системи підвищення кваліфікації викладачів іноземної мови може повністю будуватися з використанням мережної моделі. У цих же випадках може використовуватися і третя модель, тобто мережне навчання з додаванням кейс-технології. Це в тих випадках, коли процес навчання будується на традиційних підручниках або CD, інших навчальних посібниках, які використовують організатори курсів. Ці посібники, як правило, розсилається учням за допомогою пошти. Сам же навчальний процес, його інформаційне забезпечення (додатковий матеріал, довідники та ін.) зберігаються на сайті курсу.

Необхідні модулі для роботи VSLE

Розглянемо модулі, які дозволяють створити інформаційну систему шкільної дистанційної освіти [11] з усіма необхідними функціями для зручного

та доступного користування для кожного типу користувачів (вчителі, учні, батьки).

Сучасна VSLE повинна включати в себе як мінімум шість модулів (рис. 1):

- модуль створення та управління інформацією;
- модуль контролю та оцінювання;
- модуль налагодження відео- та текстового зв'язку (чат розмови);
- модуль планування;
- модуль збору та відображення статистичної інформації;
- модуль створення інклюзивного доступу до інформації.

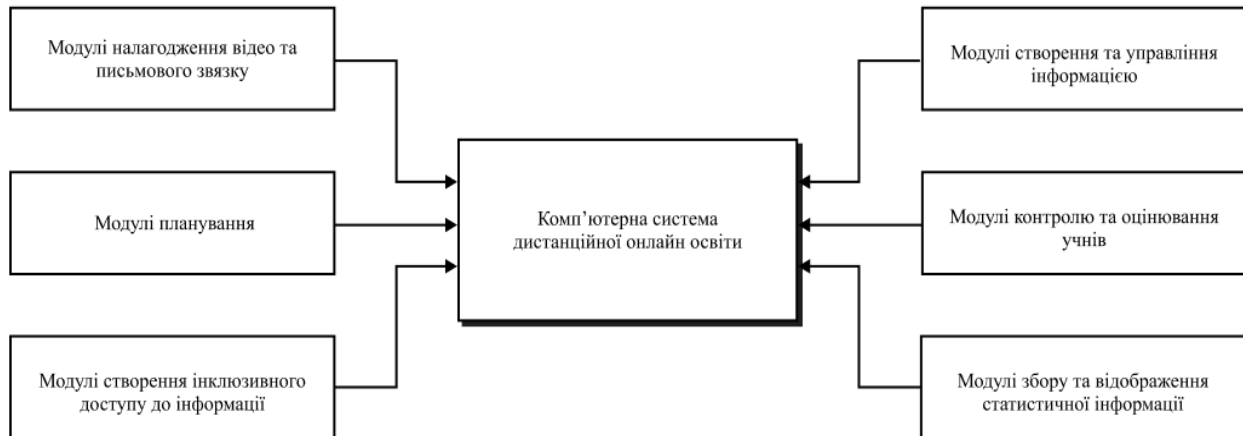


Рис. 1. Структура інформаційної системи дистанційної освіти

Кожен користувач з відповідним рівнем доступу може завантажити файли у систему або прикріпити посилання на файли, які знаходяться у хмарному сховищі. Також користувачам надана можливість використовувати вбудований редактор текстових матеріалів, презентацій, тестувань, самостійних, контрольних робіт та інтерактивних матеріалів. Редактор має дві версії: для вчителя та для учня. Вчитель або адміністратор може створювати необхідні навчальні матеріали, не виходячи з оточення онлайн-застосунку. У свою чергу, учень також може виконувати домашнє завдання, використовуючи графічні методи передачі письмової інформації, такі як графічний планшет чи пристрій з сенсорним екраном.

Модуль контролю учнів та оцінювання також включає дві складові, що відповідають за оцінювання знань учнів, рівень викладання викладачів та відвідування як учнів так і вчителів. Якщо в попередньому модулі є інструменти для створення тестів, контрольних та інших оцінювальних завдань, то даний модуль дозволяє тільки обирати для яких занять слід використовувати той чи інший інструмент оцінювання. Для оцінювання учнів, вчитель може створювати форми з тестами, за допомогою вбудованого конструктора. Завдання тестування може включати в себе варіанти тестів з розгорнутою відповіддю та з завантаженням файлів. Також вони можуть повністю складатися тільки із завдань, до яких необхідно завантажити файли, що написані власноруч.

Кожен з модулів системи має необхідні інструменти для налагодження роботи в межах своєї спеціалізації, тому розглянемо їх детальніше.

Модуль створення та управління інформацією можна поділити на дві складові.

Перша відповідає за управління персональними даними користувачів: тобто, це інструменти для реєстрації та авторизації користувачів у системі та редагування їх персональних даних. Друга відповідає за створення та редагування навчальної інформації. Вона включає в себе необхідні інструменти для роботи з текстовими, відео- та інтерактивними матеріалами для навчання.

При взаємодії на уроці вчитель може використовувати інструменти для інтерактивних завдань. Спочатку вчитель повинен створити інтерактивне завдання в спеціальному середовищі, що вбудоване в електронний застосунок для вчителя, а потім викласти цей матеріал на уроці.

За допомогою пристроїв передачі рукописного введення інформації, таких як графічні планшети чи сенсорні екрани, учні можуть взаємодіяти з учителем у режимі реального часу в письмовій формі. Учні також можуть завантажувати цифрові презентації, як зроблені на сторонніх сервісах, так і використовуючи вбудовані інструменти для створення презентацій.

Для контролю відвідування у системі створений інструмент [2], який може автоматично відмічати учня на уроці, якщо буде помічена будь-яка активність з його облікового запису: звук, відео, написання тексту у чаті чи виконання тесту, самостійної роботи тощо.

Особливо така функціональність буде корисною для учнів початкової та середньої школи.

Модуль збору та відображення статистичної інформації допомагає стежити за успішністю, відвідуванням учнів та вчителів. Цей модуль збирає усі необхідні дані про користувачів системи та допомагає створити такі необхідні інструменти як онлайн-щоденник та класний журнал з відвідуванням. Для батьків буде надано електронний журнал з оцінками їхньої дитини, електронний щоденник, який містить оцінки, домашні завдання та можливі пові-

домлення або зауваження. У кінці кожного семестру буде формуватися електронний табель, який показуватиме успішність дитини.

Модуль налагодження відео та текстового зв'язку дозволяє створити відеоконференції або налаштувати листування за допомогою вбудованих функцій. Для відеоконференцій можна користуватися не тільки вбудованим сервісом для відеозв'язку, а й використовувати сторонні сервіси, наприклад, Google Meet.

Але вбудована система гарантує більш надійний зв'язок та необмежену кількість учасників.

Модуль планування відповідає за процеси створення навчальної програми, планування шкільних подій та ведення шкільної онлайн-дошки оголошень.

Вчителі разом з адміністраторами, які відповідають за налагодження шкільного процесу, завдяки цьому модулю можуть узгодити та скласти розклад занять, який учні та їх батьки можуть переглядати у будь-який час. Також, даний модуль налагодить систему сповіщень як про шкільні події, так і про важливі оголошення для батьків.

Модуль створення інклюзивного доступу до інформації забезпечує однаковий доступ до отримання знань людям з обмеженими зоровими можливостями за допомогою аудіовідтворення тексту та можливістю збільшення контрасту елементів.

Висновки

У цій статті було проведено аналіз галузі онлайн-освіти, який визначив, що важливим фактором створення інформаційної системи онлайн-навчання є інфраструктура навчального закладу. Створення та розгортання цієї інформаційної інфраструктури – це одна із ознак успішного впровадження інформаційних технологій в освітній процес. Також в статті наведена структура інформаційної системи та обґрунтовано використання її модулів.

Кожен модуль може використовувати інструменти іншого, таким чином доповнюючи систему в цілому. Якщо модуль створення та управління інформацією створює інструменти для цього, то модулі, які відповідають за планування чи контроль можуть їх використовувати. Також модуль зв'язку має інструменти для створення відеоконференцій, а модуль планування має інструменти для створення подій, на яких може бути використаний функціонал відеоконференції.

Даний напрямок є дуже перспективним в наші часи, через карантинну ситуацію у світі. Також створення застосунків для шкільного онлайн-навчання дозволить отримати доступ до якісної шкільної освіти більшій кількості учнів та створить нові робочі місця для вчителів та адміністрації школи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Система дистанційного навчання Moodle [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://moodle.org>.
2. Distance learning toolkit Edmodo [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://new.edmodo.com>.
3. Сервіс Google Classroom [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://classroom.google.com>.
4. Бесплатная цифровая платформа для обучения основным школьным предметам Яндекс.Учебник [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://education.yandex.ru>.
5. Кревский И. Г. Инновационные модели организации обучения с использованием дистанционных образовательных технологий // Менеджмент инноваций. – 2008. – № 3. – С. 222-231
6. Толстобоков О. Н. Современные методы и технологии дистанционного обучения. – 2020. – 72 с.
7. Сисоев П. В., Хмаренко М. І. Моделі дистанційного навчання. – 2015. – 122 с.
8. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець // Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 97-100.
9. 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>.
10. Биков В.Ю. Дистанційне навчання в країнах Європи та США і перспективи для України / В.Ю. Биков // Інформаційне забезпечення навчально-виховного процесу: інноваційні засоби і технології : кол. монографія / В.Ю. Биков, О.О. Гриценчук, Ю.О. Жук / Академія пед. наук України, Інститут засобів навчання. – К. : Атіка, 2015. – С. 77–140.
11. Дистанційне навчання. Види дистанційного навчання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/taradistedu/home/5-vidy-distancionnogo-obucenia>.

Received (Надійшла) 14.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

Structure of the information system, which is oriented on online learning

Tetiana Filimonchuk, Anton Pliuta

Abstract. The subject of the study is information technology focused on online learning. The purpose of this article is to determine the structure of the school information system. The following results were obtained. The structure of the information system, which is focused on online learning, and its division into separate modules, which cover all the necessary functions for teachers and students, help to create and maintain the distance learning process. The functions that will be implemented in these modules include methods focused on the management of personal data, training materials, notification, evaluation of the presentation of works, statistical analysis and information collection, flexible learning. **Conclusions.** Using the above-mentioned functions, it is possible to create a complete replacement of the usual school for each user and turn it into an information system with all the necessary tools for further functioning.

Keywords: online learning, online school, application, education, interface, computer.

Olexander Shmatko¹, Anna Goloskokova¹, Olha Korol², Irada Rahimova³

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

³Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

COMPARISON OF MACHINE LEARNING METHODS FOR A DIABETES PREDICTION INFORMATION SYSTEM

Abstract. Diabetes is a disease for which there is no permanent cure; therefore, methods and information systems are required for its early detection. This paper proposes an information system for predicting diabetes based on the use of data mining methods and machine learning algorithms. The paper discusses a number of machine learning methods such as random forest, AdaBoost algorithm, multilayer perceptron, neuro-like structure of Consecutive Geometric Transformations Models (CGTM), linear regression based on the stochastic gradient descent, generalized regression neural network and regression based on the support vector machine. The Pima Indian Diabetes dataset collected from the UCI machine learning repository was used in the research. The dataset contains information about 768 patients and their corresponding nine unique attributes: the number of times of pregnancy; plasma glucose concentration for two hours in an oral glucose tolerance test; diastolic blood pressure; the thickness of the folds of the skin of the triceps; the concentration of serum insulin for two hours; body mass index; a function of diabetes heredity; the age of a person; the result of a variable class (0 – no diabetes, 1 – a sick person). The research has been carried out to improve the prediction index based on the Recursive Feature Elimination method. It was found that the logistic regression model performed well in predicting diabetes. It has been shown that in order to use the created model to predict the likelihood of diabetes mellitus with an accuracy of 78%, it is necessary and sufficient to use such indicators of the patient's health status as the number of times of pregnancy, the concentration of glucose in the blood plasma during the oral glucose tolerance test, the BMI index and the result of the calculation of the heredity functions "Diabetes Pedigree Function".

Keywords: machine learning, data mining, neural network, diabetes prediction information system, logistic regression, decision tree.

Introduction

Diabetes mellitus is an "epidemic of the XXI century", an incurable disease of the pancreas, which develops due to absolute or relative insufficiency of the hormone insulin. It is characterized by a steady rise in blood glucose levels, which in turn can lead to complications.

To achieve compensation for diabetes, constant monitoring is required. In addition to taking oral medications and insulin, following a strict diet, exercise, daily routine, checking your blood glucose regularly, and keeping a special diary, your diabetic should see an endocrinologist regularly for advice and appropriate measures to improve or maintain the condition.

Normally, the level of glucose in the blood varies within fairly narrow limits: from 3.3 to 5.5 mmol / liter. This is due to the fact that in a healthy person, the pancreas produces or stops the release of insulin depending on the actual level of glucose in the blood. In case of insufficiency or complete absence of insulin (type 1 diabetes mellitus) or in case of impaired interaction of insulin with cells (type 2 diabetes mellitus), glucose accumulates in the blood in large quantities, and the body's cells are unable to absorb it. As of 2019, in addition to the already mentioned type 1 and type 2 diabetes, there are gestational diabetes (gestational diabetes), MODY–diabetes and LADA–diabetes [1].

Depending on the specifics of the diagnosis, treatment of patients with diabetes involves the use of oral agents to improve insulin permeability to body tissues and / or replacement therapy with subcutaneous insulin injections of varying duration to mimic the normal functioning of the pancreas. With mild diabetes, you can do without medication, but a strict diet with a clear understanding of the amount of nutrients consumed, moderate

exercise, daily routine, blood glucose control and diary of self–monitoring are mandatory for all patients with this diagnosis.

Under conditions of poor or insufficient treatment (decompensation or subcompensation of diabetes), blood glucose levels in the human body are consistently high. Against this background, complications of diabetes develop, which not only worsen the patient's standard of living, but can also be fatal. These complications include: ketoacidosis (accumulation of a dangerously large number of ketone bodies in the blood), hypoglycemia (decrease in blood glucose below 3.3 mmol / l), hyperosmolar and lactic acidotic coma, polyneuropathy (peripheral nerve damage), nephropathy (kidney damage), retina retinal vessels), angiopathy (impaired vascular permeability), diabetic foot syndrome, etc.

To achieve compensation for diabetes a condition in which the patient has achieved stable normal blood glucose levels during treatment and the risk of complications is reduced – constant monitoring is required. In addition to the above measures, this control also includes regular visits to the endocrinologist for advice and appropriate measures to improve or maintain the patient's health.

Literature review. There are a number of studies on predicting diabetes based on machine learning (ML) methods for the Pima Indian Diabetes Dataset (PIDD). Pima Indian Diabetes Dataset (PIDD) containing: 9 attributes, 768 records describing female patients. [1-5].

In [1], artificial neural networks were used to predict diabetes based on the PIDD dataset, which showed a prediction accuracy of 75.7%. The author of [3] showed that among the applied methods of machine learning, like support vector machine, naive Bayesian classifier, decision trees on PIDD and naive Bayesian classifier shows the best accuracy – 76.30%. In [4], applied logistic

regression to PIDD to predict diabetes. The model proposed in this paper showed a fairly good forecast with an accuracy of 75.32%. In the study [5], all patient data were used to train and test a classifier based on Naive Bayes and decision trees. The research results showed that the best algorithm is the naive Bayesian algorithm with an accuracy of 76.3021%.

The most important problem in a machine learning method is the choice of training parameters and the corresponding classifier. In this paper, the Recursive Feature Elimination method was used to improve the prediction rate. Our research work is to select the best classifier for the diabetes prediction information system. In this work, various machine learning classification algorithms are used to predict diabetes in a patient, such as random forest, AdaBoost algorithm, multilayer perceptron, neuro-like structure of Consecutive Geometric Transformations Models (CGTM), linear regression based on the stochastic gradient descent, generalized regression neural network and regression based on the support vector machine.

Main part

System design. The system architecture for the Diabetes Prediction System, shown in Fig. 1 below, is a conceptual model that defines the structure, behavioral interactions, and several systemic representations that underlie the system. The figure shows a formal description of the system, submodules of the system, as well as data flows between them. Fig. 1 shows the components of the system architecture.

Methods. Based on the comparison and analysis of the functional properties of leading software solutions in the field of medicine, it was determined that the option "Obtaining prediction of the probability of the patient's disease" is not implemented in modern diabetes management information systems. However, due to statistics on the fate of patients with misdiagnosis, it becomes impossible to deny the need to implement this useful function.

The problem of predicting the incidence of diabetes can be solved using the methods of classification of machine learning.

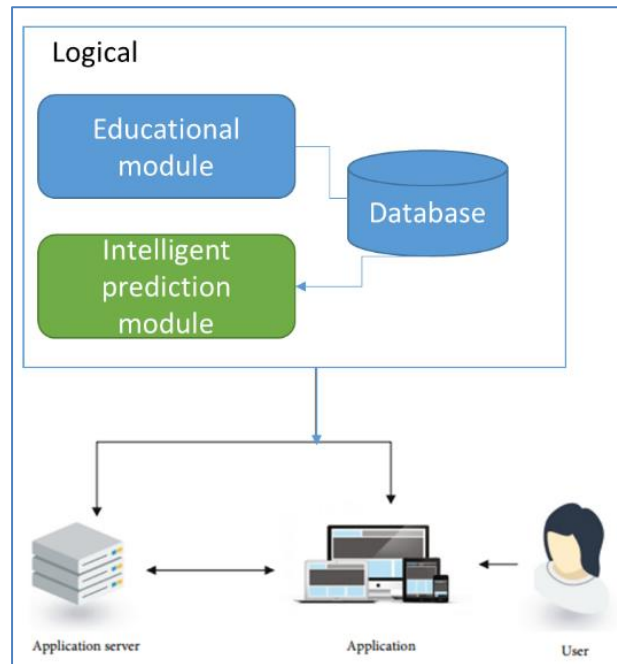


Fig. 1. System architecture

In the tasks of medical diagnostics, patients act as objects. The characteristic description of the patient is, in fact, a formalized medical history. Having accumulated a sufficient number of precedents in electronic form, you can use the methods of classification of machine learning and predict the likelihood of the patient's disease.

An example of solving the problem of classification using machine learning to predict the incidence of diabetes. Description of the source data. To implement the considered methods of classification of machine learning, we will use the popular service "UCI Machine Learning Repository", which provides a large number of sets of real data, and consider the initial data presented in the sample "Pima Indians Diabetes Database" (Fig. 2).

There are a total of 768 records in the sample, each of which is characterized by the following nine parameters:

	Pregnancies	Glucose	BloodPressure	SkinThickness	Insulin	BMI	DiabetesPedigreeFunction	Age	Outcome
0	6	148	72	35	0	33.6	0.627	50	1
1	1	85	66	29	0	26.6	0.351	31	0
2	8	183	64	0	0	23.3	0.672	32	1
3	1	89	66	23	94	28.1	0.167	21	0
4	0	137	40	35	168	43.1	2.288	33	1

Fig. 2. Example data in the Pima Indians Diabetes Database sample

- "Pregnancies" – the number of times of pregnancy;
- "Glucose" – plasma glucose concentration (in mg / dl) for two hours in an oral glucose tolerance test;
- "BloodPressure" – diastolic blood pressure (in mm Hg);
- "SkinThickness" – the thickness of the folds of the skin of the triceps (in mm);

- "Insulin" – the concentration of serum insulin for two hours (in $\mu\text{g} / \text{ml}$);
- "BMI" – body mass index, calculated by the formula: weight in kg / (height in m);
- "DiabetesPedigreeFunction" – a function of diabetes heredity;
- "Outcome" – the result of a variable class (0 – no diabetes, 1 – a sick person);

- "Age" – the age of a woman.

The available data show the following distribution: 500 people are healthy (i.e. their "Outcome" parameter is zero) and 268 have diabetes (their "Outcome" parameter is equal to one).

In graphical form, the data "Pima Indians Diabetes Database" can be represented as follows (Fig. 3).

As can be seen from Fig. 3, inaccurate data are found in the sample. For example, these are:

- blood pressure equal to zero (35 cases);
- zero blood glucose concentration (5 cases);
- skin fold thickness less than 10 mm (227 cases);
- BMI approaching zero (11 cases);

- zero level of insulin concentration in the blood (374 cases).

To eliminate the above problems, the following options are proposed.

- Delete or ignore records. An undesirable option, because it means the loss of valuable information. The sample contains too many records with zero skin thickness and blood insulin concentration, but this tool can be applied to the fields "BMI", "Glucose", "Blood pressure".
- Using averages. This option may be the case for some samples, but using a mean value, such as blood pressure, will be the wrong signal for the model.
- Avoid the use of problematic characteristics.

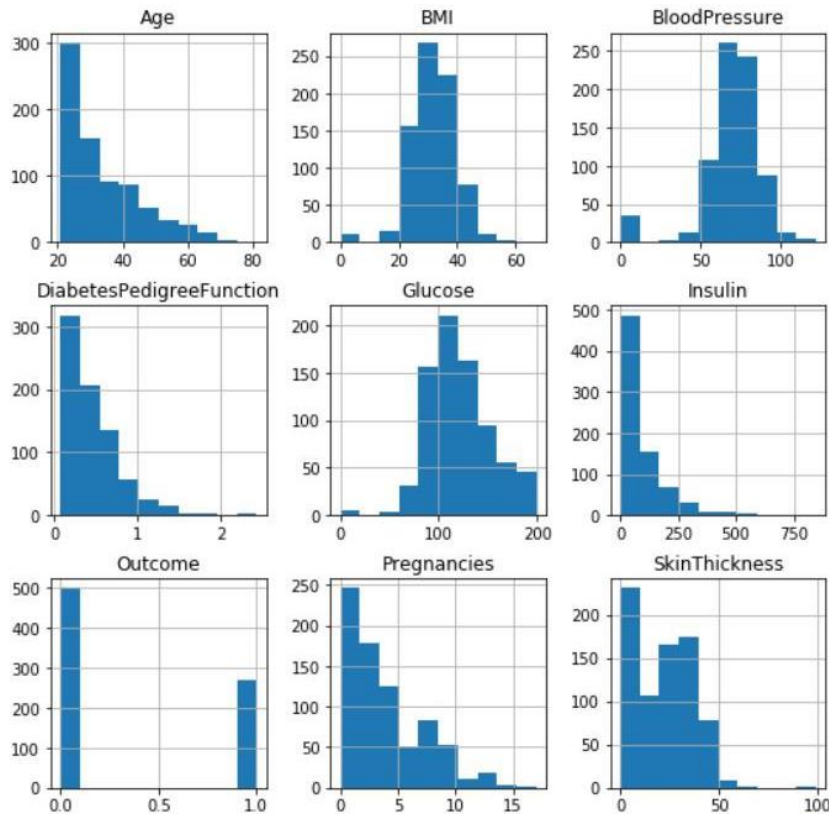


Fig. 3. Graphic representation of data distribution

This option could work for the thickness of the skin, but at this stage it is difficult to predict the result.

After analyzing possible ways to solve the problem of incomplete data, we decide to remove from the sample rows in which the attributes "BMI", "Glucose" and "Blood pressure" are zero. As a result, 724 records remain in the database.

Choice of classification method. The methods of machine learning, which were studied in the article, are presented in table. 1

The first group of methods is ensemble. The paper covers the study of two different classes of these methods: bagging, which includes the Random forest algorithm, and boosting, which is represented by the AdaBoost algorithm. The peculiarity of Random forest is that it provides a stable and effective solution while minimizing problems with retraining [6]. In addition, it is resistant to emissions and scaling and is able to process large data sets with many features of each input vector

[7]. Among the disadvantages of this method should be noted the lack of extrapolative properties and difficult interpretation of the results [6].

The composition of the AdaBoost algorithm involves an iterative process of building private models, where each subsequent algorithm is learned using information about the errors made in the previous stage [8]. Simplicity of implementation and high ability to generalize are the main advantages of the AdaBoost algorithm. Among the limitations of the algorithm should be noted the need for no noise in the data, which can lead to retraining [9]. In addition, an important role in the efficiency of this algorithm is played by the dimension of the sample for training [8]. The next group of methods for solving the regression problem under study is neural network. The possibility of using a multilayer perceptron, a generalized regression neural network and a neuro-like structure of a model of successive geometric transformations to predict the amount of costs of retail store

consumers is considered. Despite the possibility of a fairly accurate approximation, the multilayer perceptron is characterized by the durability of the training procedure for its iterative process. The generalized regression neural network is fast, but characteristics such as the size and structure of the data sample, the quality of the algorithm and software solution based on it, the use of parallelism, etc., in some cases make the network very large

and slow. In addition, in the Random forest algorithm, it is not capable of extrapolating data [10]. The application of neuro-like structures of the model of successive geometric transformations to the solution of regression problems is characterized by a high speed of implementation of learning procedures and sufficient accuracy of the forecast [11]. However, large amounts of data may limit the use of this computing tool.

Table 1 – Parameters of the studied machine learning algorithms

Number of the method	The name of the machine learning method	Symbol of the method	Method parameters
1	Random Forest	Method 1	maximum depth of the tree = 5
2	AdaBoost algorithm	Method 2	basic algorithm — decision tree (maximum depth = 4), number of weak (base) trees = 300
3	Multilayer perceptron	Method 3	23 inputs, 23 neurons in the hidden layer, 1 output
4	Neuro-like structure of Consecutive Geometric Transformations Models (CGTM)	Method 4	23 inputs, 23 neurons in the hidden layer, 1 output
5	Linear regression based on the stochastic gradient descent	Method 5	waste function = 'squared_loss', $\alpha = 0.0001$
6	Generalized regression neural network	Method 6	$\sigma = 0.4$ ($\sigma \in [0.1, 1.5]$)
7	Regressor based on the support vector machine	Method 7	kernel = rbf, epsilon = 0.001, maximum number of iterations = 200

Linear regression based on stochastic gradient descent, like the support vector machine, is characterized by a high speed [12], but not always by satisfactory prediction results.

Development of the problem solving concept based on the machine learning algorithms. MN or an artificial intelligence (AI), is a research discipline that deals with the methods and algorithms of experiential learning. For some researchers, the phrase MN is part of AI, provided that the ability to learn is a crude attribute of an intellectual individual.

The purpose of machine learning is to develop computer systems that can learn and respond based on their

previous observations. The purpose of artificial intelligence is to develop an intelligent agent or assistant that uses a variety of machine-based learning methods based on the solution.

Database knowledge research (DBKR) is a discipline that includes hypotheses, approaches, and strategies

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^{pred} - y_i^{true})^2}, \quad (1)$$

that seek to understand data and extract valuable facts from it. It is known that this is a multistage method (selection, pre-processing, transformation, MN / AI, understanding / evaluation), defined in Fig. 4.

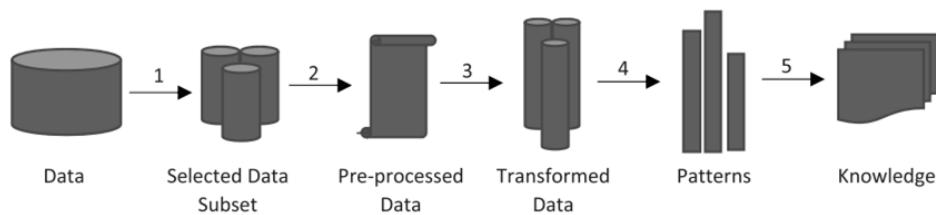


Fig. 4. Multistage method of knowledge extraction

The most critical phase in the whole DBKR method is MN / AI, which illustrates the use of MN and AI algorithms in data processing. MN processes are usually divided into three specific groups. These include:

- supervised learning (SL), where the scheme indicates the functionality of the marked learning data;
- unsupervised learning (UL), where the system tries to deduce the nature of unidentified data;
- reinforced learning (RL), where the machine interacts with a dynamic context. Artificial intelligence is used to develop intellectual assistants who will help in self-management and personalization of disease therapy.

Evaluation of research results. The simulation of the available ML methods (table 1) was performed on a real data set "Pima Indians Diabetes Database".

The simulation was performed on a data set from which all observations with spaces were removed. The data sample was randomly divided into training and test. The percentage of such division was 70% to 30%, respectively.

All parameters of the studied methods are presented in table 1. Evaluation of the effectiveness of the forecasting task was based on two indicators:

- The root-mean-square error (RMSE);
- Duration of the training procedure.

In Fig. 5 presents a comparison of the values of the root mean square error of all studied methods.

The values of the error are plotted on the x-axis, and the studied methods – on the y-axis. The black (dark) columns of the histogram indicate the error obtained in

the training mode (rmse training), grey (light), respectively, the error of the application mode (rmse test).

The worst result on accuracy of the decision of the set task is shown by the method constructed on the basis of the support vector machine (fig. 5). The best result is obtained using the AdaBoost algorithm. The difference in accuracy based on (fig. 5) between the two methods is more than 28%. The Random forest algorithm in comparison with AdaBoost shows slightly worse results in the application mode, but much better in the training mode. It should be noted that in Fig. 5 the error in the training mode for method 6 does not show, because it does not require training as such. However, as can be seen from Fig. 5, the accuracy of its operation is unsatisfactory.

In addition to the accuracy of work, no less important feature of the information system is the ability to

work online. That is why the duration of the training procedures of the methods underlying such systems is critical. Given this, the study conducted an experimental study to assess this indicator.

Figure 6 shows the duration of training procedures for all studied methods (in seconds).

As can be seen from Fig. 6, the training procedure of method 5 is very fast, and the duration of the learning algorithms underlying methods 1 and 2, respectively, is 6 and 12 times slower. The usage of a multilayer perceptron to solve the problem leads to significant time delays. In particular, it is slower than method 1 by more than 549 times. However, the worst results, given the operating time, were obtained using a neural network of generalized regression. Its usage for the problem solution lasts more than 130 seconds.

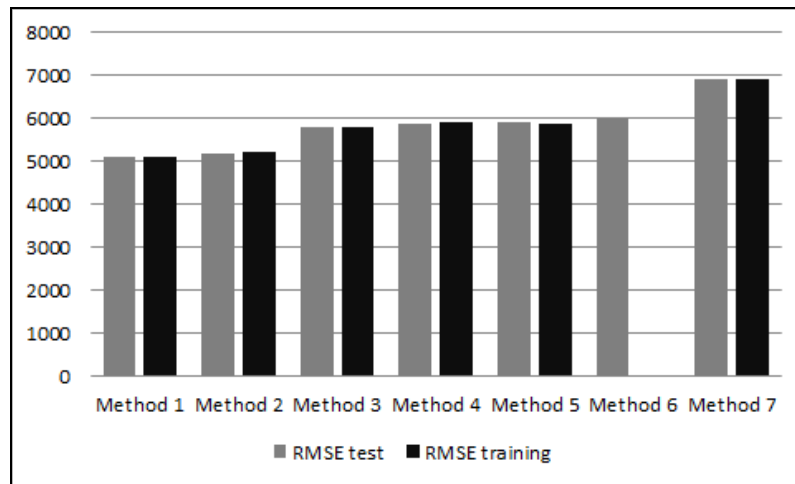


Fig. 5. The root mean square error value of the RMSE modes of training and usage

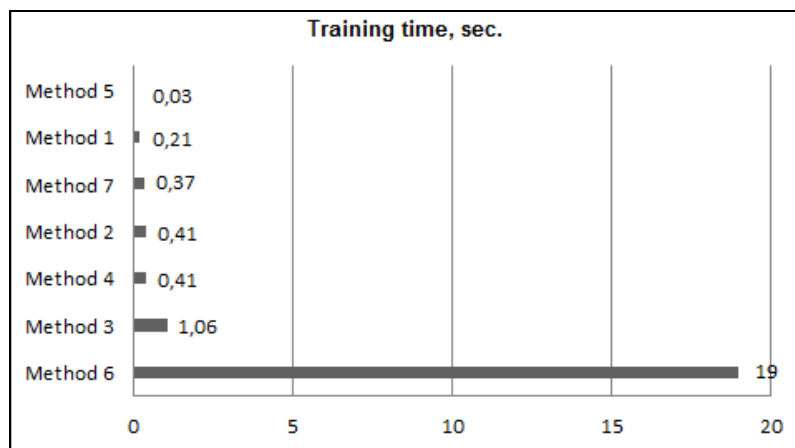


Fig. 6. Duration of training procedures of the studied methods

Based on the analysis of both the accuracy of ML methods (Fig. 5) and the duration of their training procedures (Fig. 6), it can be argued that the most effective solution to the problem is provided by ensemble methods according to the schemes of improved association (bagging), and improved cross-section (boosting).

That is, methods 1 and 2, respectively. Artificial neural networks (methods 3 and 4) do not provide sufficient accuracy.

Висновки

Early detection of diabetes is one of the major health problems. This paper proposes a system architecture and classifier for an information system that can predict diabetes with high accuracy. We have pre-processed the data. Using the method of reducing the number of functions, we abandoned four parameters.

We used four input parameters ("Pregnancy", "Glucose", "BMI", "Pedigree function of diabetes") and one

output parameter ("Result") in the PIMA data set. Seven different machine learning algorithms were used, including random forest, AdaBoost algorithm, multilayer perceptron, neuro-like structure of Consecutive Geometric Transformations Models (CGTM), linear regression based on the stochastic gradient descent, generalized regression neural network and regression based on the support vector machine for providing the diabetes prediction. The performance of these models was evaluated by various parameters.

Thus, the accuracy of the models was assessed both in the training mode and in the test mode. The best performance on these parameters was determined in models developed by the methods of AdaBoost and Random Forest. The worst result in terms of the accuracy of solving

the problem was showed by a method based on the machine of reference vectors. Another indicator that has been studied was the assessment of the training duration. The least time was spent on learning the method of linear regression based on stochastic gradient descent, while the training of models based on the building and training of neural networks is the slowest. Taking into account the analysis of methods for both indicators, it is established that the most effective solution of the problem is provided by ensemble methods according to the schemes of both improved bagging and improved boosting, i.e. Random Forest and AdaBoost methods, respectively.

The use of improving the prediction index based on the Recursive Feature Elimination method allowed us to reduce the number of parameters from 8 to 4.

REFERENCES

1. Alam, Talha Mahboob, et al. A model for early prediction of diabetes. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2019. No. 16. P. 100–204.
2. Sisodia, Deepti, and Dilip Singh Sisodia. Prediction of diabetes using classification algorithms. *Procedia computer science*. 2008. No. 132. P. 1578–1585.
3. Tigga, Neha Prerna, and Shruti Garg. Prediction of type 2 diabetes using machine learning classification methods. *Procedia Computer Science*. 2020. No. 167. P. 706–716.
4. Diwani, Salim Amour, and Anael Sam. Diabetes forecasting using supervised learning techniques. *Adv Comput Sci an Int J*. 2014. No. 3. P. 10–18.
5. Zou, Quan, et al. Predicting diabetes mellitus with machine learning techniques. *Frontiers in genetics*. 2018. No. 9. P. 515–523.
6. Joshi R., Gupte R., Saravanan P. A Random Forest Approach for Predicting Online Buying Behavior of Indian Customers. *Theoretical Economics Letters*. 2018. No. 08. P. 448–456.
7. Wu X., Meng S. E-commerce customer churn prediction based on improved SMOTE and AdaBoost. *13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*. Kunming. 2016. P. 1–5.
8. Cao Y., Miao Q.-C., Liu J.-C., Gao L. Advance and Prospects of AdaBoost Algorithm. *Acta Automatica Sinica*. 2013. Vol. 39. No. 6. P. 745–758.
9. Alomair O. A., Garrouch A. A. A general regression neural network model offers reliable prediction of CO2 minimum miscibility pressure. *Journal Petrol Explor Prod Technol*. 2016. No. 6. P. 351–365.
10. Tkachenko R., Izonin I. Model and Principles for the Implementation of Neural-Like Structures Based on Geometric Data Transformations. *Advances in Computer Science for Engineering and Education*. Springer International Publishing, Cham. 2019. P. 578–587.
11. Izonin I., Trostianchyn A. et al. The Combined Use of the Wiener Polynomial and SVM for Material Classification Task in Medical Implants Production. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2018. No. 10. P. 40–47.
12. Tepla T. L., Izonin I. V., Duriagina Z. A. et al. Alloys selection based of the supervised learning technique for design of biocompatible medical materials. *Archives of Materials Science and Engineering*. 2018. No. 1. P. 32–40.

Received (Надійшла) 28.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

Порівняння методів машинного навчання для інформаційної системи прогнозування діабету

О. В. Шматко, А. О. Голоскокова, О. Г. Король, І. Р. Рагімова

Анотація. Діабет – це хвороба, від якої немає постійного лікування; тому для його раннього виявлення потрібні методи та інформаційні системи. У цій статті пропонується інформаційна система для прогнозування діабету, яка ґрунтується на використанні методів інтелектуального аналізу даних та алгоритмів машинного навчання. У статті обговорюється ряд методів машинного навчання, таких як випадковий ліс, алгоритм AdaBoost, багатошаровий перцептрон, нейроподібна структура моделей послідовних геометричних перетворень, лінійна регресія на основі градієнтного стохастичного спуску, узагальнена регресійна нейронна мережа і регресія на основі машини опорних векторів. Для даного дослідження був використаний набір даних Pima Indian Diabetes, зібраний із репозиторію машинного навчання UCI. Набір даних містить інформацію про 768 пацієнтів та їх відповідні дев'ять унікальних атрибутів: кількість вагітностей; концентрація глюкози у плазмі протягом двох годин при пероральному тесті на толерантність до глюкози; діастолічний артеріальний тиск; товщина складок шкіри трицепса; концентрація інсуліну сироватки за дві години; індекс маси тіла; функція спадковості при діабеті; вік людини; результат змінної класу (0 – немає діабету, 1 – хворий). Були проведені дослідження щодо покращення індексу прогнозування на основі методу виключення рекурсивних ознак. Виявлено, що модель логістичної регресії добре підходить для прогнозування діабету. Показано, що для використання створеної моделі для прогнозування ймовірності цукрового діабету з точністю до 78% необхідно і достатньо використовувати такі показники стану здоров'я пацієнтки, як кількість вагітностей, концентрація глюкози в плазмі при пероральному тесті на толерантність до глюкози, індекс ІМТ та результат розрахунку функції спадковості «Родовідна функція діабету».

Ключові слова: машинне навчання, інтелектуальний аналіз даних, нейронна мережа, інформаційна система прогнозування діабету, логістична регресія, дерево рішень.

А. В. Шостак

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

ПРО ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДЕСКРИПТОРІВ У СІАМСЬКІЙ НЕЙРОННІЙ МЕРЕЖІ

Анотація. Предмет дослідження – процеси розпізнавання зображень рукописних цифр із застосуванням нейронних мереж. Додаток для розпізнавання ґрунтується на архітектурі сіамської мережі з нейронними згортковими підмережами. **Мета статті** – обґрунтування вибору N-вимірних векторних уявлень вхідних зображень для опису їх властивостей, порівняння та їхнього розпізнавання. **Завдання:** експериментальне дослідження розпізнавання зображень рукописних цифр із використанням архітектури сіамської нейронної мережі. **Методи досліджень:** метод прямого пошуку для функцій з декількома змінними для визначення N-вимірних векторних представлень вхідних зображень. **Методи досліджень:** метод прямого пошуку для функцій з декількома змінними для визначення N-вимірних векторних уявлень вхідних зображень. **Результати досліджень.** Результати досліджень. Проведено визначення N-вимірних векторних уявлень вхідних зображень рукописних цифр та досліджено їх характеристики. Виконано експериментальне дослідження розпізнавання зображень із використанням векторних уявлень зображень у рамках архітектури сіамської нейронної мережі. Показано, що запропоновані методи визначення векторних N-вимірних уявлень вхідних зображень є робастними і незначно впливають на кількість помилок при тестуванні розпізнавання. Під час тестування використовувалися зображення рукописних цифр із тестового набору MNIST. Визначено, що використання наперед вибраних еталонних уявлень вхідних зображень дозволяє спростити архітектуру сіамської мережі. **Висновки.** Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при порівняльній оцінці та визначенні N-вимірних векторних уявлень різних класів вхідних зображень з метою розпізнавання їх з використанням архітектури сіамської нейронної мережі.

Ключові слова: сіамська нейронна мережа, дескриптор, тестування нейронної мережі.

Вступ

Сіамська нейронна мережа це один із видів нейронних мереж, що складається, як правило, з трьох підмереж [1]. Вхідні дані подаються на входи перших двох підмереж, що мають однакові набори ваг та ідентичні за архітектурою. Перші дві підмережі формують векторні уявлення (дескриптори) вхідних даних. Третя підмережа на підставі результатів роботи перших двох підмереж формує підсумковий результат у порівнянні вхідних даних.

Сіамські мережі широко використовуються в системах розпізнавання обличчя та інших графічних образів, для порівняння текстів, в системах перевірки підпису тощо [1, 2].

Виходом сіамської мережі є оцінка ступеню подібності або відмінності вхідних даних на двох входах мережі. На підставі цієї оцінки й виконується розпізнавання об'єктів на входах мережі [1-4].

У відомих джерелах недостатньо повно описані особливості побудови та використання дескрипторів вхідних даних.

Основна частина

На рис. 1 представлена класична архітектура сіамської нейронної мережі. i_1 та i_2 – входи даної мережі, на які подаються зображення рукописних цифр розміру 28×28 пікселів з набору даних MNIST [5]. Підмережі 1 і 2 однакові за архітектурою, кількістю і значенням вагових параметрів. Ці підмережі зазвичай будуються на підставі сукупності послідовних повнозв'язних або згорткових шарів.

$h(i_1)$ та $h(i_2)$ – виходи (або дескриптори вхідних зображення) обох підмереж 1 і 2. Дескриптор $h(i_1)$ представляє собою N-мірне векторне представлення зображення i_1 , тобто N-мірний вектор властивостей зображення i_1 . Евклідова відстань $d(h(i_1),$

$h(i_2))$ для дескрипторів $h(i_1)$ і $h(i_2)$ максимальна для різних зображень i_1 та i_2 й мінімальна для однакових.

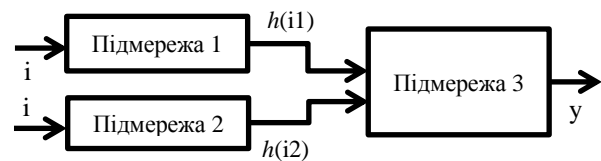


Рис. 1. Узагальнена архітектура сіамської мережі

Підмережа 3 обчислює евклідову відстань $d(h(i_1), h(i_2))$ між дескрипторами і на її підставі формує оцінку ступеня схожості або відмінності зображень на входах мережі i_1 та i_2 .

При навчанні сіамських нейронних мереж найчастіше використовуються наступні функції втрат [2-4]: бінарна крос-ентропія, контрастна функція втрат, триплетна функція втрат.

Контрастна та триплетна функції втрат прагнуть зменшити відстань між схожими об'єктами і збільшити відстань між різними об'єктами. При використанні триплетної функції втрат застосовуються найбільш складні вимоги формування пар зображень для навчального набору даних [4].

З метою аналізу дескрипторів вхідних даних використовувалася сіамська нейронна мережа з [3]. Всі обчислення проводилися у блокноті хмарного сервісу Google Colaboratory.

Структура моделі підмережі 1 (підмережі 2) наведена на рис. 2. На вхід підмережі 1 подається одноканальне зображення у градаціях сірого кольору з рукописною цифрою i_1 розміру 28×28 пікселів – $\text{Input}(28 \times 28 \times 1)$. Далі йде згортковий шар ($\text{Conv2D}_1(4, (5, 5), \text{tanh})$), який за допомогою ядер згортки розміру $(5, 5)$ формує 4 карти ознак та використовує функцію активації гіперболічного тангенса

tanh. Після першого шару згортки слід субдискретизований шар AveragePooling2D(2, 2), який замінює дані в вікні розміру (2, 2) їх середнім значенням. Далі – другий шар згортки (Conv2D_2(16, (5, 5), tanh)), який за допомогою ядер згортки розміру (5, 5) формує 16 карт ознак і використовує функцію активації tanh. Наступний – шар AveragePooling2D(2, 2).

Далі шар Flatten, на виході якого з вхідних даних формується одновимірний вектор, і шар BatchNormalization, що виконує пакетну нормалізацію для прискорення процесу навчання мережі. Вихід підмережі 1 формується повнозв'язним шаром (FC(10, tanh)) з 10 вузлів з використанням функції активації tanh. Тому дескриптор вхідного зображення $h(i1)$ є 10-мірним вектором з елементами розподіленими від -1 до +1.

```
Input(28*28*1) → Conv2D_1(4, (5, 5), tanh) →
→ AveragePooling2D(2, 2) →
→ Conv2D_2(16, (5, 5), tanh) → AveragePooling2D(2, 2) →
→ Flatten → BatchNormalization → FC(10, tanh)
```

Рис. 2. Структура моделі підмережі 1

Структура моделі підмережі 3 наведена на рис. 3. На два входи (Input(10)*2) підмережі 3 подаються два 10-мірних дескриптора $h(i1)$ та $h(i2)$. Далі йде шар Lambda, що обчислює евклідову відстань між дескрипторами, і шар BatchNormalization. Вихід підмережі 3 формується повнозв'язним шаром (FC(1, sigmoid)) з 1 вузла з використанням функції активації sigmoid. Тому на виході всієї даної сіамської мережі формується значення у в інтервалі від 0 до 1, що показує ступінь подібності двох вхідних зображень рукописних цифр $i1$ та $i2$.

```
Input(10)*2 → Lambda → BatchNormalization →
→ FC(1, sigmoid)
```

Рис. 3. Структура моделі підмережі 3

При навчанні мережі використовувалася контрастна функція втрат [2, 3], величина пакету дорівнює 16 (batch_size = 16) і кількість епох – 10 (epochs = 10). Решта значень гіперпараметрів при навчанні були значеннями за замовчуванням.

Оцінка якості моделі на тестових даних показала для метрики assigasu значення 0,9824.

Еталонні дескриптори для цифр будувалися на підставі дескрипторів, отриманих на виході повнозв'язного шару FC(10, tanh) (рисунок 2) з тренувального набору зображень рукописних цифр. Для побудови еталонних дескрипторів цифр були проаналізовані наступні способи:

1. $h1$ – дескриптор, який відповідає конкретному зображенню цифри і мінімізує суму евклідових відстаней від нього до всіх інших дескрипторів зображень з відповідною цифрою,

2. $h2$ – дескриптор, визначений за допомогою одного із методів прямого пошуку для функції з кількома змінними [6], і який мінімізує суму евклідових відстаней від нього до всіх інших дескрипторів зображень з відповідною цифрою,

3. $h3$ – дескриптор, визначений за допомогою одного з методів прямого пошуку для функції з кількома змінними [6], і який мінімізує суму евклідових відстаней від нього до k випадково вибраних дескрипторів зображень з відповідною цифрою.

Еталонні дескриптори для десяти цифр обчислювалися на підставі набору з 30000 10-мірних дескрипторів, отриманих з зображень цифр тренувального набору даних.

Дескриптор $h10$ мінімізує сумарну всерединікластерну евклідову відстань (SR) для кластера з 2961 дескриптора зображень цифри 0 тренувального набору даних. Наприклад, дескриптор $h10$ для цифри 0 має такий вигляд:

```
h10 = [ 0.9993759, - 0.99132943, - 0.99756294,
- 0.94506454, - 0.9919112, 0.9991755, - 0.963361,
- 0.69670916, 0.99568534, 0.9948068 ]
```

У табл. 1 наведено кількість зображень різних цифр в тренувальному наборі, сумарні всерединікластерні відстані та середні всерединікластерні відстані (SSR) (з точністю до чотирьох знаків після коми), що забезпечуються дескрипторами $h1$ для відповідної цифри. Найкомпактніший кластер утворюють дескриптори цифри 3 – середня всерединікластерна відстань для дескрипторів цифри 3 складає 0.2802, кількість цифр в цьому кластері 3073. Найнекомпактніший кластер утворюють дескриптори цифри 0 – SSR = 0.595, кількість цифр в цьому кластері 2961.

Таблиця 1 – Сумарна всерединікластерна відстань і середня всерединікластерна відстань для $h1$

Цифра	Число цифр	SR	SSR
0	2961	1761.74	0.5950
1	3423	1311.64	0.3832
2	2948	1654.30	0.5612
3	3073	861.07	0.2802
4	2926	1523.16	0.5206
5	2709	1352.85	0.4994
6	2975	1181.38	0.3971
7	3107	1308.17	0.4210
8	2875	1281.36	0.4457
9	3003	1235.98	0.4116

Для пошуку оптимальних дескрипторів $h2$ або $h3$ використовувався метод Нелдера-Міда [6] з пакету optimize бібліотеки SciPy в Python. Дескриптори $h2$ розраховувалися на підставі дескрипторів всіх цифр відповідного кластера тренувального набору, дескриптори $h3$ – на підставі $k=10$ випадково вибраних дескрипторів відповідного кластера.

У табл. 2 для зображень з кожною цифрою наведені кількість цифр в тренувальному наборі, сумарні всерединікластерні відстані і середні всерединікластерні відстані, забезпечені дескрипторами $h2$ та $h3$ для відповідної цифри. Наприклад, дескриптори $h20$ і $h30$ для цифри 0 мають такий вигляд:

```
h20=[0.98109656, - 0.98173788, - 0.98839225,
- 0.96168772, - 0.99090116, 0.98956289, - 0.97216287,
- 0.69049328, 0.98800528, 0.99558528],
h30=[0.9428392, - 0.93947548, - 0.98871858,
- 0.98101832, - 0.99888479, 0.96929498, - 0.99031109,
- 0.77560263, 0.98796668, 0.99986114].
```


Таблиця 2 – Сумарна всерединікластерна відстань і середня всерединікластерна відстань для h2 та h3

Цифра	Число цифр	Для h2		Для h3	
		SR	SSR	SR	SSR
0	2961	1755.98	0.5930	1799.13	0.6076
1	3423	1304.64	0.3811	1344.94	0.3929
2	2948	1650.18	0.5598	1708.59	0.5796
3	3073	859.71	0.2798	861.86	0.2805
4	2926	1512.94	0.5171	1518.41	0.5189
5	2709	1349.86	0.4983	1363.79	0.5034
6	2975	1175.42	0.3951	1182.45	0.3975
7	3107	1303.09	0.4194	1308.62	0.4212
8	2875	1278.35	0.4446	1309.50	0.4555
9	3003	1229.58	0.4095	1240.28	0.4130

На рис. 2 представлена архітектура сіамської нейронної мережі для тестування застосування дескрипторів h1, h2 та h3. На перший вхід мережі подається еталонний дескриптор j-ї цифри h_j, на другий вхід мережі подається зображення рукописної цифри i розміру 28*28 пікселів з набору даних MNIST.

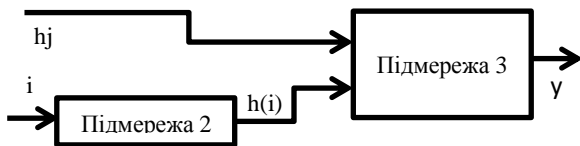


Рис. 2. Архітектура сіамської мережі при тестуванні

Таблиця 3 – Результати тестування на тестовому наборі зображень з цифрою 0 з використанням дескрипторів h1, h2 та h3 для цифр від 0 до 9

Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Помилка для h1	7	0	3	0	0	0	2	1	0	0
y	0.0078	0.0500	0.8800	0.1115	0.3770	0.4442	0.8717	0.9961	0.3857	0.1309
Помилка для h2	7	0	3	0	0	0	2	1	0	0
y	0.0077	0.0522	0.8857	0.1119	0.3840	0.4534	0.8744	0.9961	0.3939	0.1360
Помилка для h3	7	0	3	0	0	0	2	1	0	0
y	0.0063	0.0580	0.8793	0.1121	0.3951	0.4642	0.8664	0.9960	0.3944	0.1338

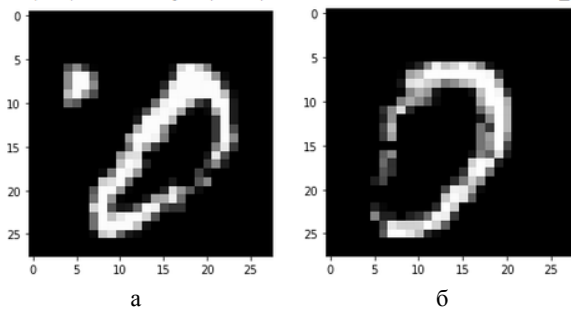


Рис. 3. Зображення цифри з міткою 0 (а – для h10 y = 0.007797569; б – для h17 y = 0.996109)

На рис. 3, б показано єдине зображення рукописної цифри з тестового набору з міткою 0, для якого для h17 значення виходу мережі більше 0.5 (стовпець таблиці 3 з цифрою 7, рядок 2 – значення виходу мережі y = 0.9961).

У табл. 4 представлені результати тестування 1032 зображень з цифрою 2 з тестового набору з використанням дескрипторів h1, h2 та h3 для цифр від 0 до 9. У стовпці з цифрою 2 показаний результат тестування, коли на вхід h мережі (рис. 2) подається значення дескриптора h12 для цифри 2 (рядки 2, 3) (де-

Підмережі 2 і 3 повністю аналогічні відповідним підмережам архітектури мережі на рис. 1. Дескриптор h(i) є N-мірним векторним представленням зображення i. Очевидно, що після визначення дескрипторів для цифр h використання сіамської нейронної мережі може виконуватися відповідно до архітектури на рис. 2.

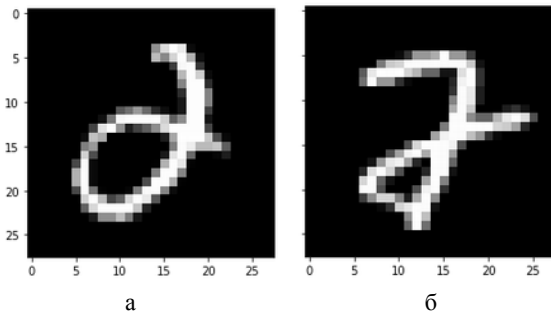
У табл. 3 представлені результати тестування 980 зображень з цифрою 0 з тестового набору з використанням дескрипторів h1, h2 і h3 для цифр від 0 до 9. У стовпці з цифрою 0 показаний результат тестування, коли на вхід h мережі (рис. 2) подається значення дескриптора h10 для цифри 0 (рядки 2, 3) (дескриптору h20 відповідають рядки 4, 5, а дескриптору h30 – рядки 6, 7), а на вхід i – одне з 980 зображень з цифрою 0 з тестового набору. Цифра 7 в другому рядку стовпця з цифрою 0 означає, що для дескриптора h10 величина виходу нейронної мережі для 7 зображень цифри 0 з 980 була менше 0.5, причому мінімальне значення виходу мережі було 0.0078 (з точністю до чотирьох знаків після коми). На рис. 3, а показано це зображення рукописної цифри з тестового набору з міткою 0, яке відповідає значенню виходу мережі 0.007797569. У стовпці для цифри 0 в рядках для виходу мережі y вказується мінімальне значення виходу мережі. У стовпцях для цифр від 1 до 9 в рядках для виходу мережі y вказується максимальне значення виходу мережі.

скриптору h22 відповідають рядки 4, 5, а дескриптору h32 – рядки 6, 7), а на вхід i – одне з 1032 зображень з цифрою 2 з тестового набору. Цифра 5 у другому рядку стовпця з цифрою 2 означає, що для дескриптора h12 величина виходу нейронної мережі для 5 зображень цифри 2 з 1032 була менше 0.5, причому мінімальне значення виходу мережі було 0.0625 (з точністю до чотирьох знаків після коми). У стовпці для цифри 2 в рядках для виходу мережі y вказується мінімальне значення виходу мережі. У стовпцях для інших цифр в рядках для виходу мережі y вказується максимальне значення виходу мережі.

На рис. 4, а показано зображення рукописної цифри з тестового набору з міткою 2, відповідне для дескриптора h12 із значенням виходу мережі 0.12663102. На рис. 4, б показано зображення рукописної цифри з тестового набору з міткою 2, відповідне для дескриптора h38 із значенням виходу мережі 0.63038. При тестуванні 980 зображень з цифрою 0 з тестового набору кількість помилок дорівнює 13 і незмінна для дескрипторів h1, h2 та h3 (таблиця 3). При тестуванні 1032 зображень з цифрою 2 кількість помилок дорівнює 21 для дескрипторів h2 та 20 – для дескрипторів h1 і h3 (табл. 4).

Таблиця 4 – Результати тестування на тестовому наборі зображень з цифрою 2 з використанням дескрипторів h1, h2 та h3 для цифр від 0 до 9

Цифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Помилки для h1	1	0	5	4	1	0	0	3	6	0
y	0.7878	0.4548	0.0625	0.9702	0.8674	0.0093	0.3104	0.9848	0.9970	0.0721
Помилки для h2	1	0	5	4	1	0	0	4	6	0
y	0.7843	0.4621	0.0647	0.9703	0.8749	0.0098	0.3196	0.9852	0.9971	0.0745
Помилки для h3	1	0	5	4	1	0	0	3	6	0
y	0.7715	0.4560	0.0618	0.9702	0.8806	0.0100	0.3066	0.9846	0.9972	0.0711

Рис. 4. Зображення цифри з міткою 2 (а – для h12 $y = 0.12663102$; б – для h38 $y = 0.63038$)

Наведені в табл. 3 і 4 результати тестування показують, що запропоновані способи вибору еталонного дескриптора h незначно впливають на кількість помилок при тестуванні.

Підсумок

У роботі проаналізовано 3 способи побудови еталонних дескрипторів для порівняння і розпізнавання рукописних цифр для сіамської нейронної мережі. Архітектура сіамської нейронної мережі, що

використана для тестування, складається із двох підмереж. На вхід першої підмережі подається зображення, яке аналізується, а її виходом є дескриптор цього зображення. Друга підмережа має два входи: на перший вхід подається еталонний дескриптор, а на другий вхід - дескриптор аналізованого зображення з виходу першої підмережі.

Тестування проводилося на зображеннях рукописних цифр з тестового набору MNIST для вихідної сіамської мережі [3]. Результати тестування показали, що запропоновані способи вибору еталонного дескриптора h незначно впливають на кількість помилок при тестуванні. При тестуванні 980 зображень з цифрою 0 кількість помилок склала 13 для всіх трьох способів побудови дескрипторів. При тестуванні 1032 зображень з цифрою 2 кількість помилок склала від 21 для дескрипторів h2 до 20 - для дескрипторів h1 та h3.

Подальші дослідження слід спрямувати на аналіз впливу розмірності дескриптора на точність порівняння зображень у сіамській нейронній мережі, а також на способи побудови дескрипторів при малому розмірі тренувального набору даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chicco D. Siamese Neural Networks: An Overview. Artificial Neural Networks. MIMB, vol. 2190, 2020, pp. 73-94.
2. Contrastive loss for Siamese networks with Keras and TensorFlow [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pyimagesearch.com/2021/01/18/contrastive-loss-for-siamese-networks-with-keras-and-tensorflow/>.
3. Image similarity estimation using a Siamese Network with a contrastive loss [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://keras.io/examples/vision/siamese_contrastive/.
4. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A unified embedding for face recognition and clustering. Proceedings of the IEEE CSC on CVPR, 2015, pp. 815-823.
5. The Mnist database of handwritten digits [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>.
6. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.

Received (Надійшла) 22.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

On the features of the formation of descriptors in the Siamese neural network

A. Shostak

Abstract. The subject of research – the processes of image recognition of handwritten numbers using neural networks. The recognition application is based on the architecture of the Siamese network with neural convolutional subnets. **The purpose of the article** is to substantiate the choice of N-dimensional vector representations of input images to describe their properties, compare and recognize them. **Objective:** experimental study of handwritten number image recognition using the architecture of the Siamese neural network. **Research methods:** direct search method for functions with several variables to determine N-dimensional vector representations of input images. **Research results.** The definition of N-dimensional vector representations of input images of handwritten numbers is carried out and their characteristics are investigated. An experimental study of image recognition using vector representations of images within the architecture of the Siamese neural network. It is shown that the proposed methods for determining vector N-dimensional representations of input images are robust and have little effect on the number of errors in recognition testing. Images of handwritten numbers from the MNIST test set were used during testing. It is determined that the use of pre-selected reference representations of the input images can simplify the architecture of the Siamese network. **Conclusions.** The results obtained in this work can be used in the comparative evaluation and determination of N-dimensional vector representations of different classes of input images in order to recognize them using the architecture of the Siamese neural network.

Keywords: siamese neural network, descriptor, neural network testing.

А. С. Янко, О. В. Шефер, Я. Е. Денисенко

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

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СПЕЦПРОЦЕСОРА ОБРОБКИ КРИПТОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕПОЗИЦІЙНИХ КОДОВИХ СТРУКТУР

Анотація. Досліджено принципи реалізації арифметичних операцій у системі залишкових класів (СЗК). Використання розглянутих принципів та основних властивостей СЗК відкриває широкі можливості в побудові не тільки нової машинної арифметики, але й принципово нової схемної реалізації процесорів. На основі дослідженої інформації було побудовано математичну модель спецпроцесора обробки криптографічної інформації (СОКІ) на основі використання основних властивостей непоозиційних кодових структур. На основі даних досліджень було проведено порівняльний аналіз надійності потроєного позиційного СОКІ з мажоритарним елементом СОКІ у СЗК по безвідмовності, застосовуючи розглянуту надійнісну модель.

Ключові слова: комп'ютерна система, непоозиційна система числення, система залишкових класів, система числення, спецпроцесор обробки криптографічної інформації.

Вступ

У даний момент неможливо уявити собі автоматичну чи комп'ютерну систему (КС) без того, щоб її центральну частину не склали процесори, що виконують функції обробки інформації та управління. У КС дії проводяться над числами, представленими у вигляді спеціальних машинних кодів у прийнятій системі числення. Залежно від способу зображення чисел, за допомогою цифр, існуючі системи числення (СЧ) умовно ділять на: позиційні та непоозиційні системи.

Протягом останніх років результати, що проводилися щодо пошуку шляхів підвищення продуктивності КС, методів організації ефективної системи виявлення та виправлення помилок і побудови високонадійних обчислювальних комплексів довели, що в межах позиційної СЧ (ПСЧ) не можна очікувати скільки-небудь задовільного результату без істотного збільшення робочих частот елементів й ускладнення апаратної частини КС. Також необхідно додати, що ПСЧ, в яких представляється і обробляється інформація в сучасних КС обробки даних, мають істотний недолік — наявність міжрозрядних зв'язків, які накладають свій відбиток на способи реалізації арифметичних операцій, ускладнюють апаратуру і обмежують швидкодію. Міжрозрядний зв'язок сприяє значному зниженню надійності, оскільки одиночна помилка в результаті переповнення розряду переноситься до наступного, сприяючи блоку помилок.

На даний час існує цілий ряд галузей науки і техніки, де інформація особливо чутлива до внутрішніх помилок, що вносяться процесором під час виконання певних задач (реалізації арифметичних операцій), до одних з таких відноситься криптографія.

Зі стрімким розвитком криптографії виникла гостра необхідність швидкої та надійної обробки масивів криптографічної інформації. Сучасна прикладна криптографія проявляє усе більш виражену тенденцію до обліку вимог, пов'язаних з особливостями електронних інформаційних технологій.

В даний час використання шифрування для захисту інформації приймає усе більш виражений технологічний характер.

Технологічний характер вживання шифрування виявляється: у масовості вживання; у різноманітності вирішуваних завдань; у різноманітності умов вживання; у спеціалізації для вирішення конкретних завдань. Тому розробка швидкодіючого та надійного спецпроцесора обробки криптографічної інформації (СОКІ) являється однією із важливих завдань сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Першим в СРСР в кінці 50-х років на непоозиційну систему числення (НСЧ) звернув увагу Федір Вікторович Лукін. Один з провідних теоретиків в області НСЧ в системі залишкових класів (СЗК) і активних учасників її практичного застосування став доктор технічних наук, професор, академік НАН Казахстану Вільжан Мавлютинович Амербаєв [1].

Дана область зацікавила математика І. Я. Акушського і його начальника, провідного розробника КС обробки даних Д. І. Юдицького, які стали згодом основоположниками СЗК в СРСР. Напрацювання даних науковців довело, що в СЗК з'явилася можливість розпаралелити процес виконання арифметичних операцій: всі операції над залишками в кожній основі виконуються окремо і незалежно (паралельно), отже, в зв'язку з їх малою розрядністю, нескладно і швидко. Малорозрядність залишків забезпечує можливість реалізації табличної арифметики, при якій результат операції не вираховував кожен раз, а, одного разу розрахований, поміщається в запам'ятовуючий пристрій (ЗП) і при необхідності зчитується з нього, тобто, операція в СЗК при табличній арифметиці виконується за один період синхронізуючої частоти (машинний такт) [2]. Дослідження вчених призвели до створення досить своєрідної машинної арифметики названою системою залишкових класів.

Метою статті є побудова математичної моделі СОКІ на основі використання основних властивостей непоозиційних кодових структур в СЗК та порівняльний аналіз надійності СОКІ різних видів.

Виклад основного матеріалу

У даній системі числення числа представляються своїми залишками від ділення на обрану систему основ, і всі раціональні операції можуть виконуватися паралельно над цифрами кожного розряду окремо. Основні властивості СЗК (незалежність залишків, рівноправність залишків, малорозрядність залишків) дозволяють усунути недоліки ПСЧ. Спільне використання першої і другої властивостей (незалежності й рівноправності залишків) обумовлює наявність в СОКІ одночасно трьох основних видів резервування: структурного, інформаційного та функціонального. А така властивість СЗК, як малорозрядність залишків дає можливість широкого вибору реалізації арифметичних операцій, заснованих на наступних методах:

- суматорному методі (на базі малорозрядних двійкових суматорів);
- табличному методі (на основі використання таблиці постійного ЗП (ПЗП));
- методі кільцевого зсуву, що заснований на використанні кільцевих регістрів зсуву.

Проаналізуємо властивості та особливості методів технічної реалізації арифметичних операцій у СЗК.

Аналіз відомих методів показав, що найбільш оптимальним з точки зору максимальної швидкодії виконання арифметичних операцій і забезпечення заданого рівня надійності функціонування СОКІ є табличний метод реалізації модульних операцій. Показано, що задачі, пов'язані з необхідністю використання табличної арифметики доцільно і ефективно вирішувати тільки у СЗК [3].

Результати аналізу основних властивостей СЗК дозволяють зробити висновок про те, що СОКІ, що функціонують у СЗК, відносяться до швидкодіючих та надійних об'єктів.

Зазначені особливості структури та принципів функціонування СОКІ в СЗК сприяють розробці ефективних й оптимальних методів резервування, що не мають аналогів в ПСЧ.

СЗК є досить своєрідною системою числення і, як усі існуючі системи числення, накладає обмеження не на структуру всієї машини в цілому, а лише на структуру арифметичного пристрою в світлі своєрідного трактування алгоритмів реалізації ряду операцій арифметичного пристрою. Тому у даній статті буде розглянуто й досліджено структуру моделі СОКІ, що функціонують у СЗК.

Структурна схема СОКІ у СЗК являє собою набір управляючих пристроїв (мікропроцесорів), що функціонують у відповідному тракті незалежно один від одного і паралельно в часі, причому кожна по своєму, певному модулю m_i .

У цьому випадку пристрої введення та виведення вирішують також відповідно завдання перетворення вхідної інформації СОКІ з позиційного коду в код СЗК і навпаки.

Тобто структура СОКІ у СЗК представляє собою послідовне з'єднання каналів обробки інформації (КОІ).

Для підвищення надійності СОКІ у відповідних КОІ вводяться резервні тракти обробки інформації (ТОІ).

При проектуванні та експлуатації СОКІ дуже часто виникає завдання не тільки забезпечити необхідну надійність шляхом резервування, а й реалізувати це якомога більш економно. При цьому для СОКІ доводиться враховувати обмеження в габаритах, вазі, споживаній електроенергії, вартості та інших характеристиках.

Інакше кажучи, виникає задача оптимального резервування.

Синтезуючи структуру СОКІ у класі залишків ймовірність безвідмовної роботи СОКІ у ПСЧ можна визначити як ймовірність безвідмовної роботи СОКІ у ПСЧ для випадку ковзного резервування з навантаженим резервом.

У цьому випадку формула для визначення ймовірності безвідмовної роботи СОКІ у СЗК прийме вигляд такого виразу:

$$P_{СЗК}^{(k)}(t) = \sum_{i=0}^k C_{k+n}^i P_1^{k+n-i}(t) \sum_{j=0}^i (-1)^j C_i^j P_1^j(t). \quad (1)$$

Тут $P_1(t) = e^{-\lambda_1 t}$ – ймовірність безвідмовної роботи тракту СОКІ по найбільшій (найменш надійній) основі m_{n+k} СЗК, де λ_1 – інтенсивність відмов обладнання тракту СОКІ у СЗК найбільшій основі m_{n+k} .

Співвідношення (1) може бути використане для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи СОКІ у СЗК при таких припущеннях:

– відмови трактів СОКІ задовольняють умовам найпростішого потоку. В цьому випадку для розрахунку показників безвідмовності використовується експоненціальний розподіл, так як він достатньо обґрунтований теоретично, підтверджений експериментально і забезпечений відомостями про інтенсивність відмов елементів спецпроцесора обробки криптографічної інформації;

– комутуючі пристрої ідеальні (тобто ймовірність безвідмовної роботи комутатора дорівнює одиниці);

– інформаційні і контрольні тракти СОКІ рівнонадійні, тобто ймовірність безвідмовної роботи всіх трактів СОКІ приймається рівною ймовірності безвідмовної роботи $P_1(t)$ тракту СОКІ по найбільшій основі СЗК m_{n+k} , що має найменшу ймовірність безвідмовної роботи;

– не враховується можливість відновлення трактів СОКІ у СЗК, які відмовили [4].

Відмітимо, що реальна надійність СОКІ у СЗК буде вищою, ніж та, що визначається співвідношенням (1), тому що дана формула не враховує можливість заміни одним контрольним трактом по основі m_j одного або одночасно декількох непрацездатних інформаційних трактів за умови:

$$m_j \geq \prod_{i=1}^r m_{k_i}, \quad (2)$$

де r – максимальне число трактів, які замінюються одним контрольним працездатним трактом по основі m_j .

Проведемо порівняльний аналіз надійності потроєного позиційного СОКІ з мажоритарним елементом СОКІ у СЗК по безвідмовності, застосовуючи розглянуту надійнісну модель.

Позначимо через λ_E інтенсивність відмов обладнання, віднесена до одного двійкового розряду (до одиниці розрядної сітки) [5]. В цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи обладнання, віднесена до одного двійкового розряду СОКІ дорівнює:

$$P_E(t) = e^{-\lambda_E t}, \quad (3)$$

де λ_E – інтенсивність відмов обладнання, віднесена до одного двійкового розряду (до одиниці розрядної сітки). Для позиційного l -байтового СОКІ ймовірність безвідмовної роботи дорівнює:

$$P_0(t) = e^{-\lambda_0 t}, \quad (4)$$

де $\lambda_0 = 8 l \lambda_E$.

З врахуванням λ_0 вираз (4) набуває наступного вигляду:

$$P_0(t) = e^{-\lambda_E l t}. \quad (5)$$

Відомо, що ймовірність безвідмовної роботи для потроєного мажоритарної структури, яка містить три СОКІ та ідеальний мажоритарний елемент, дорівнює [6-8]:

$$P_M(t) = 3P_0^2(t) - 2P_0^3(t) = e^{-16\lambda_E t} (3 - 2e^{-8\lambda_E t}). \quad (6)$$

Для ЕОМ в СЗК ймовірність безвідмовної роботи тракту по довільній основі $m_i (i = \overline{1, n+k})$:

$$P_1(t) = e^{-\lambda^* t}; \quad (7)$$

або
$$P_1(t) = e^{-\lambda_E \alpha_{n+k} t}, \quad (8)$$

де $\alpha_{n+k} = \lceil \log_2(m_{n+k} - 1) \rceil + 1$.

Ймовірність безвідмовної роботи СОКІ у СЗК визначається відповідно до виразу (5).

Нехай $l = 1$ (однобайтовий СОКІ) і $k = 1$. Тоді з урахуванням критерію мінімальності апаратної надлишковості СОКІ систему залишкових класів можна представити у виді набору наступних основ $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11$.

При цьому:

$$\prod_{i=1}^4 m_i = 420 > 2^8 = 256, \quad (9)$$

і найбільший спільний дільник (НСД) $(m_i, m_j) = 1$ для $i \neq j$. В цьому випадку співвідношення (1) прийме вигляд:

$$P_{СЗК}^{(1)}(t) = 5P_1^4(t) - 4P_1^5(t) = e^{-16\lambda_E t} (5 - 4e^{-4\lambda_E t}), \quad (10)$$

Позначимо $\lambda^* = 8\lambda_E$. При цьому вирази (6) і (10)

можна записати наступним чином:

$$P_M(t) = e^{-2\lambda^* t} (3 - 2e^{-\lambda^* t}). \quad (11)$$

$$P_{СЗК}^{(1)}(t) = e^{-2\lambda^* t} (5 - 4e^{-0.5\lambda^* t}). \quad (12)$$

Нехай $k = 2$. У цьому випадку СЗК можна представити у виді набору таких основ: $m_1 = 3, m_2 = 4, m_3 = 5, m_4 = 7, m_5 = 11, m_6 = 13$.

Для даного набору основ вираження (1) запишемо наступним чином:

$$P_{СЗК}^{(2)}(t) = P_1^4(t) \cdot \left\{ \begin{array}{l} P_1^2(t) + 6P_1(t) \times \\ \times [1 - P_1(t)] + 15[1 - P_1(t)]^2 \end{array} \right\}. \quad (13)$$

Відповідно до вищенаведених виразів розраховуються значення ймовірності безвідмовної роботи для потроєного позиційного СОКІ та для СОКІ у СЗК (рис. 1).

На рис. 1(а) представлено графіки залежностей $P(\lambda^* t)$ для однобайтових СОКІ: нерезервованого (I), триканального резервованого СОКІ у ПСЧ (II) і СОКІ у СЗК з параметрами $l = 1, n = 4, k = 1$ (III), а на рис. 1(б) при $k = 2$.

З рис. 1 видно, що СОКІ у СЗК з однією контрольною основою (III) більш надійніша потроєного позиційного процесора (II). При цьому критичне значення ймовірності безвідмовної роботи СОКІ в класі залишків дорівнює 0,425, а критичне значення потроєної обчислювальної системи дорівнює 0,5, тобто розширюється область значень $\lambda^* t$, при яких збільшується (в порівнянні з нерезервованим позиційним СОКІ (I)) безвідмовність роботи непозиційного СОКІ.

Висновки

Основна властивість СЗК, а саме малорозрядність залишків дозволяє застосовувати табличні алгоритми реалізації арифметичних операцій, що різко підвищують надійність і продуктивність СОКІ. Показана можливість ефективного використання непозиційного кодування для покращення основних характеристик спецпроцесора обробки криптографічної інформації [9].

Результати досліджень показали, що СЗК при меншій додатково введеній кількості обладнання забезпечує не меншу надійність, чим потроєна або дубльована мажоритарна структура в ПСЧ, що дуже важливо при побудові спецпроцесора обробки криптографічної інформації.

Сформульовано та досліджено принципи обробки інформації в СЗК.

Проведено дослідження впливу основних властивостей СЗК на архітектуру і принципи функціонування СОКІ.

Розроблено та досліджено структуру математичної моделі надійності спецпроцесора обробки криптографічної інформації у СЗК.

Проведено порівняльний аналіз надійності СОКІ у СЗК і подібної тройованної мажоритарної структури в ПСЧ.

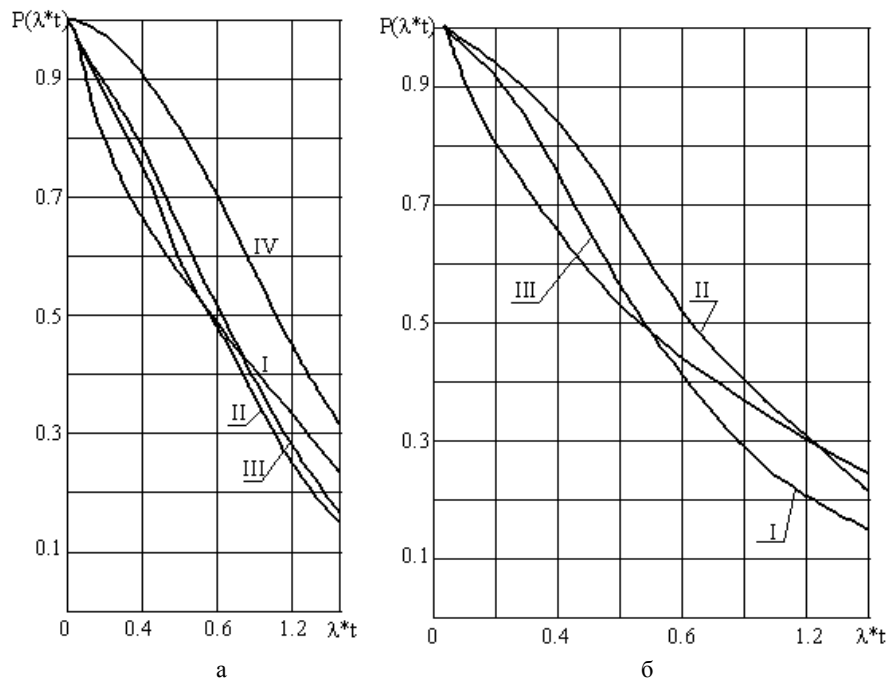


Рис. 1. Графіки залежностей імовірності безвідмовної роботи $P(\lambda*t)$:
а – при $k = 1$; б – при $k = 2$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Krasnobayev V., Kuznetsov A., Yanko A., Koshman S., Zamula A. and Kuznetsova T. Data processing in the system of residual classes. Monograph. ASC Academic Publishing, 2019, 208 p.
2. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. Радио, 1968. – 444 с.
3. Krasnobayev V., Yanko A. and Koshman S. A. Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system. Cybernetics and Systems Analysis, vol. 52, Issue 1, 2016, pp. 145–150.
4. Tuazon. J. O. Residue number system in computer arithmetic. Doctor of Philosophy, Iowa State University, Digital Repository, Ames, 1969.
5. Yadin A. *Computer Systems Architecture*. Chapman and Hall/CRC, 2016.
6. 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>
7. 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>
8. 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>
9. ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective mono-graph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov. ASC Academic Publishing, Minden, Nevada USA, 2019, 445 p. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook)

Received (Надійшла) 27.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 17.11.2021

Construction of mathematical model of special processor for processing of cryptographic information on the basis of use of main properties of non-positional codes

A. Yanko, O. Shefer, Y. Denysenko

Abstract. The principles of realization of arithmetic operations in the system of residual classes (SRC) are investigated. Studies have shown that in this number system, numbers are represented by their remainders from the division into the selected system of bases, and all rational operations can be performed in parallel over the digits of each digit separately. The main properties of SRC (independence of residues, equality of residues, low-bit residues) allow to eliminate the shortcomings of the positional number system. The joint use of the first and second properties (independence and equality of residues) determines the presence of three main types of redundancy in special processor of processing of the cryptographic information (SPPCI) at the same time: structural, informational and functional. And such a property of SRC as low-bit residues allows a wide choice of implementation of arithmetic operations. The use of the considered principles and basic properties of SRC opens wide possibilities in construction not only of new machine arithmetic, but also fundamentally new circuit realization of processors. On the basis of the researched information the mathematical model of the SPPCI on the basis of use of the basic properties of non-positional code structures was constructed. Based on these researches, we conducted a comparative analysis of the reliability of the triple positional SPPCI with the majority element of SPPCI in SRC on reliability, applying the considered reliable model.

Keywords: computer system, non-positional number system, number system, residual class system, special processor of cryptographic information processing.

Н. В. Касаткіна¹, О. В. Панова², К. Д. Ніколаєв³

¹ Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

³ Управління інноваційної політики та науково-технічного розвитку, Київ, Україна

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО НОРМАЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Анотація. Розглянуто можливості нормалізації аероіонного режиму повітря приміщень без застосування коронних іонізаторів повітря з побічною генерацією озону й оксидів азоту. Наведено результати експериментів по визначенню динаміки концентрацій аероіонів обох полярностей. Показано, що під час роботи стандартного ультразвукового зволожувача повітря за зміни відносної вологості з 38 до 45 % концентрації іонів змінюються наступним чином: n^- – з 230 до 560, n^+ – з 260 до 410, що можна вважати задовільним. Але під час роботи кондиціонера, та у залежності від часу доби пропорції полярностей аероіонів різні. Це пояснюється як переважною позитивною іонізацією приземного шару повітря у нічний та ранковий час та частково непередбачуваною електризацією полімерних поверхонь (ковролінів, лінолеумів, шпалер тощо). Остання залежить від знаку поверхневого заряду. Отримані дані щодо впливу спліт-системи на аероіонний режим приміщень, відмінні від відомих. Тому зроблено висновок про необхідність ретельних досліджень впливу систем вентиляції, охолодження та кондиціонування повітря, що дозволить визначити перелік та вміст заходів з нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрації аероіонів обох полярностей. Зроблено висновок про доцільність розроблення і випробування ультразвукового іонізатора повітря з регульованою генерацією як з кількістю, та і за коефіцієнтом полярності аероіонів. Це дозволить не тільки нормалізувати концентрації аероіонів, а і нейтралізувати поверхневі електростатичні заряди обох знаків.

Ключові слова: іонізація повітря, аероіон, ультразвук, електризація, полярність.

Вступ

Нормативні параметри повітряного середовища виробничих приміщень є важливим чинником збереження здоров'я і працездатності працюючих. Особливо це стосується об'єктів критичної інфраструктури, персонал яких виконує відповідальні функції, що потребує належних умов праці. На таких об'єктах – щитах керування електростанцій, авіадиспетчерських тощо у повітрі відсутні специфічні фактори середовища, та як певні хімічні речовини, підвищена залежність і т. ін., але можливі деіонізація повітря, низька відносна вологість, наявність дрібнодисперсного пилу і електризація полімерних поверхонь. На сьогоднішній день навіть сучасні системи клімат-контролю не забезпечують нормативні значення й підтримання на нормативному рівні наведених чинників виробничого середовища, що також важливо для переважної більшості офісних та навчальних приміщень і потребує проведення досліджень і відповідних розробок у цьому напрямі.

Огляд останніх публікацій і досліджень. Нормалізації параметрів повітряного середовища та їх оптимізації приділяється багато уваги [1]. Але такий фактор, як аероіонізація повітря зазвичай розглядається окремо і визначає закономірності поширення аероіонів у приміщеннях зі штучною іонізацією [2]. Не дивлячись на відомий фактор залежності аероіонного складу повітря від накопичення поверхневих електричних зарядів на поверхнях, але такі дослідження мають фрагментарний характер [3, 4].

Як переконливо показано у [5], низька відносна вологість та деіонізованість повітря у приміщеннях керування повітряним рухом аеропортів пов'язані з

значною експлуатацією полімерних поверхонь. Заміна полімерних оздоблювальних матеріалів на натуральні нереальна, тому доцільний пошук шляхів нормалізації цих взаємопов'язаних факторів. Одним з них є підвищення іонізація повітря, яка нормалізує поверхневі заряди. Але потужні іонізатори генерують озон та оксиди азоту під час коронних розрядів [6].

У [7, 8] доведено ефективність застосування ультразвукового методу отримання аероіонів, який не дає побічних ефектів генерації шкідливих речовин. Але виникає проблема неконтрольованості ультразвукової генерації іонів як за кількістю, так і за полярністю, тобто концентрацій аероіонів обох знаків. Це потребує розроблення методологічних засад та дослідження ефективності методів нормалізації параметрів повітряного середовища виробничих приміщень.

Мета статті є розроблення засад нормалізації параметрів повітря виробничих приміщень – аероіонізації, відносної вологості, дрібнодисперсного пилу в умовах їх взаємної залежності.

Виклад основного матеріалу

Як показано у [9], на концентрації аероіонів певним чином впливають стандартні зволожувачі повітря. Тому на першому етапі для експериментального визначення динаміки концентрацій аероіонів у якості джерела був застосований ультразвуковий зволожувач повітря Saturn ST-AH2107 потужністю 25 Вт з витратою води 0,28 кг/год. Концентрації аероіонів обох знаків контролювалися за допомогою лічильника аероіонів Сапфір ЗК. Відносна вологість повітря вимірювалася каліброваним гігрометром CX601D. Температура під час вимірювань 23,5–24,0 °С. Вимірювання виконувалися у приміщенні об'ємом ~ 60 м³.

Температура повітря стабілізувалася за допомогою спліт-системи упродовж двох годин.

Після вимірювання фонових значень відносної вологості і концентрацій аероіонів обох знаків вмикався зволожувач повітря і контрольні вимірювання здійснювалися кожні 0,5 год. Вимірювальні прилади розташовувалися на відстані 1 м від зволожувача повітря на висоті 0,5 м від підлоги.

Для попереднього визначення впливу ультразвукового зволожувача повітря за температури повітря 25 °С та відносної вологості 41 %, було виміряне концентрації аероіонів обох полярностей. Вони склали $n^- = 280 \text{ см}^{-3}$, $n^+ = 110 \text{ см}^{-3}$. Вимірювання здійснювалися у ясну погоду опівдні, у провітрюваному приміщенні. Після цього приміщення зачинялося, вмикався зволожувач повітря і працював упродовж 1 год. У результаті відносна вологість підвищилася до 44 %, $n^- = 510 \text{ см}^{-3}$, $n^+ = 550 \text{ см}^{-3}$. Тобто очевидно, що крім зволожуючого ефекту, ультразвуковий зволожувач впливає на аероіонізацію повітря. Тому доцільно дослідити динаміку відносної вологості, температури та концентрацій аероіонів у процесі роботи зволожувача. Результати наведено у табл. 1 ($T=0$ відповідає показникам до вмикання зволожувача).

Таблиця 1 – Зміна вологості та аероіонізації повітря під впливом ультразвукового зволожувача*

Т, год	t, °С	φ, %	n, см ⁻³	
			n ⁻	n ⁺
0	24,0	38	230	260
0,5	23,5	39	470	410
1,0	23,0	44	700	520
1,5	23,0	44	520	370
2,0	22,5	45	560	410

Аналізуючи табл. 1 виникає декілька питань. По-перше, фонові значення концентрацій аероіонів обох полярностей відрізняються від наведених вище попередніх вимірювань (вимірювання виконувалися в одному приміщенні). Наявність переважної більшості негативних іонів у таблиці на початку експерименту можна пояснити тим, що вимірювання здійснювалися о десятій годині ранку у закритому приміщенні. Відомо, що Земля має від'ємний заряд, тому за відсутності спрямованих рухів повітря у приземному шарі спостерігається підвищена концентрація позитивних іонів внаслідок їх дрейфу до поверхні землі. Попереднє дослідження виконувалося опівдні з перемішуванням повітря, що обумовило іншу переважну полярність. Але у цьому випадку концентрація позитивних іонів дуже мала (~ 110 см⁻³). Це можна пояснити впливом на іонізацію електризованих поверхонь, упродовж яких рухається повітря. Це певним чином пов'язане з другим питанням щодо таблиці 1. За годину після вмикання зволожувача концентрації аероіонів обох знаків досягали максимуму, після чого вони суттєво, за межами похибки вимірювань, знижувалися. Далі знову спостерігалася підвищення концентрацій.

Причиною падіння концентрації, причому переважно однієї полярності, може бути нейтралізація іонами поверхневих зарядів на полімерних поверхнях (у даному випадку – ковrolін). Відомо, що за

рахунок трибоелектричного ефекту напруженості електричного поля поверхневих зарядів на ковrolіні, лінолеумі, тощо можуть досягати 10-15 кВ/м.

На наступному етапі досліджувався вплив зволожувача на аероіонний склад повітря у приміщенні із працюючою системою (вимірювання починалися о сьомій годині ранку, приміщення зачинене (табл. 2)).

Таблиця 2 – Вплив зволожувача повітря на концентрації аероіонів

Т, год	t, °С	φ, %	n, см ⁻³	
			n ⁻	n ⁺
0	24,0	40	310	490
1	23,5	44	810	710
2	23,0	52	1700	960
3	22,5	52	1540	1150

Як видно з табл. 2, вихідна концентрація аероіонів відповідає співвідношенню полярностей для відсутності вертикального руху повітря, але з часом підвищення відносної вологості повітря супроводжується збільшення концентрації аероіонів обох полярностей, але негативні іони превалюють. Причиною може бути або нейтралізація частини позитивних іонів негативними поверхневими зарядами, аерозолями тощо, або переважна деіонізація повітря спліт-системою, що раніше спостерігалася [10]. Було перевірено вплив працюючої системи охолодження повітря на його аероіонізацію (табл. 3).

Таблиця 3 – Вплив працюючої спліт-системи на аероіонізацію повітря

Т, год	t, °С	φ, %	n, см ⁻³	
			n ⁻	n ⁺
0	26,0	53	180	430
1	23,0	45	150	830
2	22,5	45	280	550
3	22,5	46	140	450

Отримані дані не дають однозначної відповіді щодо впливу спліт-системи на концентрації аероіонів. Принаймні досліджений пристрій створює тенденцію зниження концентрацій негативних аероіонів. Певний вплив на процес має й зміна відносної вологості зі зниженням температури. У будь-якому випадку потребують подальших ретельних досліджень декілька аспектів:

- вплив системи підтримання температурного режиму на концентрації аероіонів;
- вплив електризованих полімерних поверхонь на концентрації аероіонів;
- визначення засобів переважної генерації іонів визначеної полярності для регулювання нормативних рівнів аероіонізації.

Останнє обумовлене тим, що згідно [11] мінімально допустимі концентрації аероіонів складають: $n^- = 600 \text{ см}^{-3}$, $n^+ = 400 \text{ см}^{-3}$. Відповідні пропорції зберігаються і для більших концентрацій. Враховуючи наявність не тільки джерел іонізації, а й чинників деіонізації – аерозолі, дрібнодисперсний пил, електризація поверхонь і робота систем вентиляції та кондиціонування повітря різних конструкцій, застосування при-

строїв штучної іонізації повітря з незмінною продуктивністю недоцільне. Це стосується як кількості аероіонів взагалі, так і співвідношення генерації іонів кожної полярності. Традиційні біполярні розрядні іонізатори мають неприйнятні побічні ефекти – генерацію шкідливих речовин, кількість яких за потреби генерації великої кількості іонів стає ненормативною. Тому доцільно розглянути можливість розроблення ультразвукового іонізатора повітря з регульованим коефіцієнтом полярності генерованих аероіонів.

Висновки

1. Для нормалізації (принаймні корекції) аероіонного режиму приміщення можливо застосувати стандартний ультразвуковий зволожувач повітря. Його перевагою є відсутність генерації супутніх шкідливих речовин.

2. Показано, що за зміни відносної вологості повітря з 8 до 45 % концентрація негативних іонів зростає від 470 до 560 см⁻³, позитивних – від 260 до 410 см⁻³.

3. Доведено, що процес іонізації повітря у процесі його ультразвукового зволоження неоднороззначний. Можливим механізмом нерівномірної і непередбачуваної іонізації повітря є поглинання частини аероіонів однієї полярності полімерними наелектризованими поверхнями. Непередбачуваним є вплив конструкцій систем вентиляції і охолодження повітря на аероіонний режим приміщень.

4. Зроблено висновок, що для забезпечення нормативних концентрацій аероіонів обох знаків доцільно розробити і випробувати ультразвуковий іонізатор повітря з регульованою генерацією іонів обох знаків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рябов Ю. Г., Гуров И. Б. Способ оценки электромагнитной безопасности. Патент на изобретение № 2398246 от Сукач С. В. Визначення параметрів оптимальної комфортності у робочій зоні приміщення за показниками повітряного середовища / О. І. Запорожець, С. В. Сукач, О. Г. Галаган, Т. Ф. Козловська // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Вип. 1/2017 (102). – С. 17–21.
2. Толкунов І. О., Пономар В. В. Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Х: УЦЗУ, 2008. №8. С.198-206.
3. Сукач С. В. Дослідження температурно-вологісного режиму приміщення під час роботи вентиляційного комплексу. *Системи обробки інформації*. Х : ХУПС, 2016. Вип. 9 (146). С. 197-202.
4. Сукач С. В., Козловская Т. Ф. Оценка комплексного влияния электромагнитных полей и аэроионного состава воздуха производственных помещений на физиологические процессы в организме человека. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2016. Вип. 4/2016 (99). С. 75-79.
5. Глива В. А., Ніколаєв К. Д., Тимошенко О. П. Дослідження рівнів фізичних факторів у приміщеннях диспетчерських служб аеропортів цивільної авіації. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава, 2019. Вип. 1(53). С. 32–35.
6. Сукач С. В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища / С. В. Сукач, О. В. Сидоров // Проблеми охорони праці в Україні. – Вип. 32. – К. : ННДПБООП, 2016. – С. 127–133.
7. Циганкова С. Г. Обґрунтування параметрів нормалізації аероіонного режиму в приміщеннях при штучній іонізації повітря: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.26.01 "Охорона праці". Дніпро, 2017. 21 с.
8. Ченчевой В.В., Сукач С.В., Ченчева О.О., Григор'єва Д.С. Дослідження параметрів гідроаероіонного складу повітря робочого приміщення з ультразвуковою іонізацією. ВІСТІ Донецького гірничого інституту № 2 (47), 2020 р., с. 168-173.
9. Tereshchenko Yu. Examining the effect of annular injection on the parameters of the axial compressors stage [Text] / Yu. M.Tereshchenko, E.Doroshenko, I.Lastivka, Yu. Yu.Tereshchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. №5/7(89). – С. 53-58. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109556
10. Сидоров О. В. Дослідження впливу чинників деіонізації на зміни концентрацій легких аероіонів у приміщеннях / О. В. Сидоров // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2012. № 6. – С. 163-167.
11. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015, acting from 263 in May 2015, Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, Germany, 5 p. – Mode of access: www.baubiologie.de/site/wp-content/uploads/standard2015-englisch.pdf

Received (Надійшла) 22.09.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.10.2021

Innovative approaches to normalizing the air quality of the production environment

N. Kasatkina, O. Panova, K. Nikolaiev

Abstract. There are considered possibilities for normalizing the air conditions in a room without using air corona ionizers with by-generation of ozone and nitrogen oxides. Experiment results for determining the aeroion concentration dynamics of both polarities are given. It is shown that during the operation of a standard ultrasonic air humidifier with a change in relative humidity from 38 to 45%, the ion concentrations change as follows: n⁻ from 230 to 560, n⁺ - from 260 to 410, which can be considered satisfactory. But during the operation of the air conditioner, depending on the time of day, the proportions of the aeroion polarities are different. This is due to both the positive ionization of the air surface layer at night and in the morning and the partially unpredictable electrification of polymer surfaces (carpets, linoleums, wallpapers, etc.). The latter depends on the surface charge sign. The obtained data on the effect of the split system on the aerionic mode of the premises, differing from the known ones. Therefore, it was concluded that careful studies of the effects of ventilation, cooling, and air conditioning systems are necessary, which will determine the list and content of measures to normalize and maintain the concentrations of aeroions of both polarities at the normative level. It is concluded that it is advisable to develop and test an ultrasonic air ionizer with controlled generation both with quantity and polarity coefficient of aeroions. This will not only normalize the concentrations of aeroions but also neutralize the surface electrostatic charges of both signs.

Keywords: air ionization, aeroion, ultrasound, electrification, polarity.

А. В. Ковальова

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ВИРОБНИЧИЙ РИЗИК ВІД ПОСТІЙНОГО ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ РОБІТНИКІВ ВІДКРИТОГО ПОВІТРЯ

Анотація. Представлене дослідження стосується визначення безпеки працюючих на відкритому повітрі при ремонті та реконструкції автомобільних шляхопроводів та будівельних робіт поблизу автомагістралей в умовах постійного шумового навантаження. На підставі аналізу вітчизняних та нормативних досліджень було визначено методологію досліджень виробничого ризику в залежності від вікової категорії працюючих та їх професійного стажу. **Предметом** дослідження є вплив постійного шумового забруднення на безпеку працюючих відкритого повітря для умов м. Києва. **Мета роботи** - визначення комплексного виробничого ризику від постійного шумового забруднення для безпеки працівників відкритого повітря. При визначенні сукупного значення виробничого ризику, розглядалися окремо значення ризику захворювання серцево-судинної системи, ризику захворювання нервової системи та ризик захворювання органів слуху. **Завдання роботи** - на підставі натурних вимірів по обраних автомобільних шляхопроводах та великих перехрестях в залежності від кількості полос руху в м. Києві, здійснено аналіз рівнів постійного шумового навантаження на території виробничих майданчиків працюючих. Встановлено межі шумового навантаження, що у більшості середньозважених та у максимальних значеннях вимірів перевищують нормативний рівень відкритого виробничого майданчика (80дБА). **Методи досліджень:** натурні виміри здійснювалися прибором «Асистент», методи розрахунку здійснювалися на основі методик діючих міжнародних стандартів та нормативних документів. **Наукова новизна** полягає в оцінці величин виробничого ризику для умов м. Києва для працюючих на відкритому повітрі від постійного шумового навантаження на протязі 8-годинного робочого дня в залежності від вікових показників та професійного стажу. **Отримані результати** щодо оцінки ризику сукупного рівня захворювань в залежності від рівнів шуму на автомобільних шляхопроводах м. Києва, свідчать про середній (помірний рівень) для різних вікових груп працюючих. Що стосується значення сукупного агрегованого ризику у випадку максимальних рівнів шумового забруднення, то розрахунки показали, що у випадку працюючих за віком більше 50 років ризик кваліфікується, як високий. **Висновки досліджень** свідчать, що отримані результати середньозважених і максимальних рівнів шумового забруднення для безпеки працюючих на відкритому повітрі потребують заходів по зниженню шумового навантаження, які слід розробляти з врахуванням середньострокової та короткострокової перспективи (1-3 роки), а також щорічний перегляд значень виробничого ризику.

Ключові слова: ризик, оцінка ризику, автошляхопровід, будівельні роботи, діючі стандарти, рівень шумового забруднення, на основі отриманих даних в м. Києві.

Вступ

В рамках імплементації природоохоронного законодавства України з законодавством Європейського Союзу наша держава зробила досить істотні кроки в напрямку запозичення досвіду держав-партнерів щодо удосконалення державного екологічного управління. Але на сьогоднішній день порівняльний аналіз чинної законодавчої бази України та міжнародних стандартів і Директив ЄС свідчить про відставання у цьому питанні по деяких нормах та стандартах, які діють ще на рівні ГОСТів з радянських часів. Не виключення в цьому питанні складають також нормативні документи, які стосуються визначення виробничого ризику працюючих як на виробництві, так і на відкритому повітрі. Поставлена **мета статті** на основі аналізу вітчизняних та міжнародних нормативних документів і отриманих вимірних даних шумового забруднення на основних перехрестях м. Києва визначити виробничий ризик від постійного шумового забруднення для безпеки працівників відкритого повітря.

Аналіз існуючих досліджень. На даний час багато дослідників відзначали розбіжності при порівняльному аналізі національної та міжнародної нормативної бази, зокрема також документів, що стосуються безпеки працюючих на відкритому повітрі. Як зазначають автори роботи [1], аналіз нормативних даних щодо шумового забруднення на територіях житлових

забудов, в тому числі від автотранспортних засобів урбанізованих територій потребує більш жорстких вимог до додержання нормативів щодо рівнів шумового забруднення. На основі аналізу діючих національних та міжнародних норм та стандартів, автори роботи вважають, етап імплементації європейського законодавства в умови українських виробників має визначити процедуру положення Директиви 2002/49/ЄС, яка стосується створення основ для розробки ряду заходів, що націлені на скорочення шумового впливу від основних джерел на урбанізованих територіях, в т.ч. автотранспортними засобами. Загальний підхід, який прописаний даною Директивою, спрямований на рекомендації щодо визначення впливу шуму навколишнього середовища за допомогою картографування; забезпечення того, щоб інформація про екологічний шум та його наслідки була доступною для громадськості; прийняття державами-членами ЄС планів дій, заснованих на результатах картографування шуму [2].

Працівники відкритого повітря, зокрема автодорожньої галузі знаходяться під впливом постійного шумового навантаження від автотранспортних засобів на протязі 8 - часового робочого дня, тому з деяким запасом оцінку порушень для здоров'я працюючих можна приймати за матеріалами документів [3-6], а саме: нервова система (порогові рівні шуму від 35Дб для нервової напруги до 60 Дб щодо порушень вегето-судинної дистонії); система кровообігу (порогові рівні шуму від збільшення кров'яного тиску без діагнозу гіпертонії від

65дБ до 70дБ щодо стенокардії та інфаркту міокарду); хвороби вуха (порогові дані від 45дБ шуму в ушах до 80дБ щодо втрати чутливості внаслідок впливу шуму).

Виклад основного матеріалу

Методологія оцінки ризику здоров'ю населення від впливу транспортного шуму пропонується виконувати у відповідності за Методичними рекомендаціями МР2.110.0059-12 «Оцінка ризику здоров'я населення від впливу транспортного шуму» [7]. В якості основної одиниці щодо рівня шумового забруднення при виконанні оцінки ризику пропонується використовувати показник еквівалентного рівня середньозваженого добового шуму (L_{den}) з врахуванням як денних, так і нічних рівнів. Рекомендації цього документу стосуються населення, які піддається постійному впливу шумового забруднення від автотранспортних засобів, як, наприклад, мешкання в будівлях поблизу напруженої автотраси.

Рекомендації міжнародного стандарту ISO 1999:2013 можуть бути застосовані безпосередньо для визначення впливу шумового забруднення для працівників відкритого повітря [8]. Стандарт ISO 1999:2013 визначає метод для розрахунку очікуваного постійного зсуву порого, викликаного шумом, у порогових рівнях чутності дорослого населення через різні рівні та тривалість впливу шуму; він є основою для розрахунку порушення слуху, коли порогові рівні чутності на загально вимірюваних аудіометричних частотах або комбінаціях таких частот перевищують певне значення. Стандарт може застосовуватися для розрахунку імовірності втрати чутливості внаслідок регулярного впливу виробничого шуму.

Категорія працівників, що розглядається в даній статті - працюючі по ремонту автодорожніх шляхів та будівельних робіт поблизу автомагістралей. Показником впливу шуму на групу ризику є рівень шумового впливу, нормований на номінальний 8-годинний робочий день для заданої кількості років впливу. Дія ISO 1999:2013 поширюється на шум на частотах менше ніж приблизно 10 кГц, який є постійним, переривчастим, коливання, нерегулярним.

В Україні на сьогоднішній день діють національні стандарти ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» та ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 «Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій» [9-10], які містять розрахунки шуму на сельбищних, ландшафтно-рекреаційних територіях та інших територіях з нормованими рівнями шуму, в приміщеннях житлових і громадських будинків від потоків автомобільного і залізничного транспорту, поїздів наземного метро,

потоків трамваїв, авіаційного і водного транспорту, від локальних внутрішньоквартальних джерел шуму в еквівалентних $LA_{екв}$ і максимальних $LA_{макс}$ рівнях звуку в дБА.

Аналіз вітчизняних та міжнародних нормативних документів щодо даних шумового забруднення, свідчить про те, що значення допустимої експозиції шумового забруднення протягом 8-часового робочого дня знаходиться в межах від 75дБА (Рекомендації Агентства з охорони навколишнього середовища США та Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо шуму в громаді) до 90 дБА (допустима межа впливу за рекомендаціями Управління з охорони праці та гігієни США) [11]. Враховуючи вітчизняну та міжнародну нормативну базу з даного питання, автори роботи вважають при розрахунку ризику працюючих на відкритому повітрі від постійного шумового навантаження слід застосовувати методику згідно Методичних рекомендацій МР 2.1.10.0059-12, але при цьому рівень діючого рівня шуму приймати за рекомендаціями міжнародного стандарту ISO 1999:2013 для 8-годинного робочого дня або за виміряними даними по основних автошляхопроводах м. Києва.

Матеріали досліджень

На 10 найбільш навантажених автомобільних розв'язках м. Києва були здійснені заміри шумового навантаження вимірювачем рівня звуку «Ассистент». Вибір точок для дослідження здійснювався в залежності від кількості автомобільних з врахуванням автомобільної розв'язки та кількості транспортних засобів, які одночасно перебувають на даній території. Виконані заміри показали, що в більшості випадках шум на великих автошляхопроводах м. Києва знаходиться в межах від 68 дБА до 90,72 дБА, що перевищує значення 80 дБА, яке є критичним рівнем для значення виробничого ризику працюючих. В результаті проведених досліджень нами враховувалося положення, яке приведено авторами в роботі [12]. На основі кореляційних залежностей автори роботи довели, що за поточних параметрів транспортного потоку (високої інтенсивності руху зі значною перевагою у структурі транспортного потоку легкових автомобілів) на еквівалентний рівень звуку впливає загальна кількість автомобілів, тоді як вплив окремих груп інших видів транспорту (вантажних, автобусів та мікроавтобусів тощо) незначне.

Методологія оцінки ризику здоров'ю визначалася нами на основі рішення наступних рівнянь, які враховують оцінку агрегованого ризику порушення серцево-судинної, нервової системи та органів слуху відповідно [7]:

$$\begin{cases} R_{t+1}^{Acn} = R_t^{Acn} + \left[0,0118 \cdot R_t^{Acn} + 0,001 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Acn})}{50} - 1 \right\rangle \right] C; \\ R_{t+1}^{Acn} = R_t^{Acn} + \left[0,052 \cdot R_t^{Acn} + 0,015 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Acn})}{58,5} - 1 \right\rangle \right] C; \\ R_{t+1}^{Acn} = R_t^{Acn} + \left[0,0074 \cdot R_t^{Acn} + 0,0016 \cdot \left\langle \frac{L_{den,t} \cdot (1 - R_t^{Acn})}{43} - 1 \right\rangle \right] C. \end{cases} \quad (1)$$

В даних рівняннях:

R_t^{Ai} – ризик порушення і-тої системи органів на початковій (заданій) в момент часу t ;

R_{t+1}^{Ai} – ризик порушення і-тої системи органів для наступного часового періоду ($t+1$) (залежить від C);

$R_t^{A_{cl}}$ – агрегований ризик розвитку порушень різної важкості слухового апарату (шум у вухах кондуктивна нейросенсорна втрата слуху, т втрата слуху, викликана шумом) на момент часу t ;

$R_t^{A_{cc}}$ – агрегований ризик розвитку порушень різної важкості серцево судинної системи, підвищеного тиску, гіпертензивна та ішемічна, хвороба серця, стенокардія, інфаркт міокарда викликані шумом на момент t ;

$R_t^{A_{nc}}$ – агрегований ризик розвитку в момент t порушень нервової системи (нервове напруження, порушення сну, когнітивні порушення, вегето-судинна дистонія);

$L_{den,t}$ – середньозважений добовий рівень шуму у досліджуваній період t , (дБ);

C – часовий емпіричний коефіцієнт; $\langle \rangle$ - дужки Келлі приймаюче значення $\langle x \rangle = 0$ при $x < 0$ та $\langle x \rangle = x$, при $x \geq 0$.

В табл. 1 представлено розрахунок по агрегативному ризику, який був розрахований за системою рівнянь (1) для різних вікових груп працюючих для двох перехрестів по середньозваженому та максимальних значеннях вимірюного шумового забруднення.

Таблиця 1 (рівень визначення класифікації ризику для працюючих на відкритому повітрі від шумового навантаження) представлена в робочих позначках на перехресті Чоколівський бульвар – Повітрофлотський проспект за величиною середньозваженого рівня шуму і перехресті пр. Перемоги – вул. Олександра

Довженка (район Шулявського мосту) за величиною максимального вимірюного рівня шуму. Класифікація рівнів ризику розміщена в Методичних рекомендаціях МР2.110.0059-12 [7].

Дані розрахунків виробничого ризику для інших найбільш великих перехрестів показали, що сукупний ризик від шумового забруднення знаходиться в тих же межах, що і приведений приклад у табл. 1. Розрахунки за даною методикою показали середній (помірний) рівень сукупного ризику від шумового забруднення при середньозважених значеннях вимірів для всіх вікових груп працюючих; при максимальних вимірах шумового навантаження ризик класифікується як високий для груп працюючих після 50 років. При дії довготривалого шумового навантаження при розрахунку загального значення ризику слід враховувати втрату чутності працюючих в залежності від стажу роботи. Так розрахунки за методикою ISO 1999:2013 засвідчили, що при 30-літньому професійному стажі та рівні шумового впливу за 8 годинний робочий день $L_{EX,8h} = 90$ дБ імовірність втрати чутності для 50 річних працюючих складає 11,5% при 10% зміщенні порогу чутності; для 40 річних працюючих ці цифри складають відповідно 7% і 6,8%. Виходячи з даних міркувань при визначенні комплексного ризику від всіх впливових факторів на безпеку працюючих на відкритому повітрі слід враховувати також додатково такий показник, як втрата чутності від постійного шумового навантаження.

Таблиця 1 – Рівень визначення класифікації ризику

Вік працівника	Ризик захворювання органів слуху	Ризик захворювання серцево-судинної системи	Ризик захворювання нервової системи	Сукупний ризик захворювань
Чоколівський бульвар – Повітрофлотський проспект 50°25'33" – 30°27'33" Середньозважений рівень шуму – 63дБА, Максимальний рівень шуму 87дБА				
20	0,0230 низький	0,007 низький	0,02855 низький	0,0585 помірний
30	0,0258 низький	0,0121 низький	0,0330 низький	0,070 помірний
40	0,0290 низький	0,0201 низький	0,0353 низький	0,084 помірний
50	0,0323 низький	0,0515 помірний	0,0377 низький	0,125 помірний
60	0,03622 низький	0,132 помірний	0,0405 низький	0,208 помірний
пр. Перемоги – вул. Олександра Довженка (район Шулявського мосту) 50°27'14" – 30°26'44" Середньозважений рівень шуму – 69дБА, Максимальний рівень шуму 93дБА				
20	0,0230 низький	0,007 низький	0,02855 низький	0,0585 помірний
30	0,0348 низький	0,0221 низький	0,0512 помірний	0,070 помірний
40	0,0566 помірний	0,0501 помірний	0,0798 помірний	0,1081 помірний
50	0,0733 помірний	0,0615 помірний	0,113 помірний	0,2678 помірний
60	0,1056 помірний	0,142 помірний	0,140 помірний	0,3888 високий

Для визначення умов праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища з достатньою точністю на попередньому етапі можна прийняти за документом [13].

Висновки

На підставі вимірюваних рівнів шумового забруднення на основних автомагістралях м. Києва було

визначено середньозважені і максимальні рівні постійного шумового впливу для працюючих на відкритому повітрі, які задіяні на ремонті та реконструкції автошляхопроводів міста.

Встановлено межі шумового навантаження, що у більшості середньозважених та у максимальних значеннях вимірів перевищують нормативний рівень відкритого виробничого майданчика (80дБА).

Рівень виробничого ризику за окремими напрямками впливу на здоров'я працюючого (ризик захворювання органів слуху, ризик захворювання серцево-судинної системи, ризик захворювання нервової системи) знаходяться в межах низького ($R < 0,05$) та помірного ($0,35 > R > 0,05$).

Але що стосується значення сукупного агрегованого ризику, то його значення незалежно від віку працюючого знаходиться в межах середнього (помі-

рного) ризику, а у випадку працюючих за віком більше 50 років ризик кваліфікується, як високий. В даному випадку рекомендовано застосування заходів для організації постійного моніторингу шумового забруднення; заходи по зниженню шумового навантаження слід розробляти з врахуванням середньострокової та короткострокової перспективи (1-3 роки), а також щорічний перегляд значень виробничого ризику.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Решетченко А.І., Борсук А.І., Вергелес Ю.І. Аналіз існуючих нормативів країн ЄС порівняно із вимогами українського законодавства в сфері шумового навантаження в урбоекосистемі. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал № 2 (20) 2019, С. 16-23.
2. Директива 2002/49/ЄС Європейського Парламенту. Оцінка та управління процесами, пов'язаними з шумом OBL 189, [чинний від 25 червня 2002 року] 18.07.2002. С. 12.
2. Фридман К.Б., Лим Т.Е., Шусталов С.Н. Концептуальна модель оцінки и управління ризиком здоров'ю населення от транспортних загрязнених. Гигиена и санитария. 2011. № 3 С. 20 - 25.
3. Haralabidis A.S., Dimakopoulou K., Vigna-Taglianti F., Giampaolo M., Borgini A., Dudley M.-L., Pershagen G., Bluhm G., Houthuijs D., Babisch W., Velonakis M., Katsouyanni K., Jarap L. Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal*, 2008. pp. 658-664.
4. Prasher D., *Environmental Noise and Health: The Latest Evidence*. 2002. pp. 151-155.
5. Haines M.M., Brentnall S., Stansfeld S.A., Klineberg E. Qualitative responses of children to environmental noise. *Noise & Health*, vol. 5, № 19, 2003. pp. 19-30.
6. Онищенко Г.Г., Аксенова О.И., Гуськов А.С., Черненко С.М. Оценка риска для здоровья населения от воздействия транспортного шума : Методические рекомендации. Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, 2012. С. 40.
7. ISO 1999:2013(E). International Standart. Acoustics — Estimation of noise-induced hearing loss. DOI: <https://www.iso.org/ru/standard/45103.html>
8. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму. [На зміну СНІП П-12-77; чинний від 01.06.2014] Київ: Мінрегіон України. 2014. С. 85.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. Київ: Мінрегіон України, 2014. 46 с.
10. Neitzel R., Fligor B., Determination of risk of noise-induced hearing loss due to recreational sound: Review Who, 2017.- P.25
11. Makarova I., Khabibullin R., Mavrin V., Belyaev E. Simulation modeling in improving pedestrians' safety at non-signalized crosswalks. *Transport problems*. 2016. Vol. 11, Issue 4, P. 139-150.
12. ГН 3.3.5-8-6.6.1 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [чинний від 27.12.2001] Київ. м МОЗ України. 2001. С. 28-34.

Received (Надійшла) 26.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.11.2021

Production risk from constant noise load for open air workers

A. Kovalova

Abstract. The presented research concerns the determination of the safety of workers in the open air during the repair and reconstruction of highways and construction works near highways under conditions of constant noise load. Based on the analysis of domestic and regulatory research, the methodology of research on industrial risk within the age categories of employees and their professional experience was determined. **The subject of the study** is the impact of constant noise pollution on the safety of workers working outdoors for the conditions of Kyiv. **The aim of the work is** to determine the complex industrial risk of constant noise pollution for the safety of workers working outdoors. In determining the total value of occupational risk, the values of cardiovascular disease risk, nervous system disease risk and hearing risk were considered separately. The task of the article is on the basis of field measurements on selected highways and large intersections depending on the number of lanes in Kyiv, the analysis of levels of constant noise load on the production sites of workers. Noise load limits have been set, which in most weighted averages and in the maximum values of measurements exceed the normative level of the open production site (80 dBA). **Research methods:** field measurements were performed with the device "Assistant", calculation method - based on the methods of current international standards and regulations. **The scientific novelty** is to assess the magnitude of industrial risk for the conditions of the city of Kyiv for workers in the open air from the constant noise load during the 8-hour working day, depending on age and professional experience. The obtained results on the assessment of the risk of the total level of diseases depending on the noise levels on the highway overpasses of Kyiv, indicate an average (moderate level) for different age groups of workers. Regarding the value of the aggregate risk in the case of maximum levels of noise pollution, the calculations showed that in the case of workers over the age of 50 the risk is classified as high. **The results** show that the results of the weighted average and maximum levels of noise pollution for the safety of workers working outdoors require noise reduction measures, which should be developed taking into account the medium and short-term (1-3 years) and an annual review of industrial risks.

Keywords: risk, risk assessment, highway overpass construction works, current standards, noise pollution level, based on the data obtained in Kyiv.

Н. І. Ємець, В. Д. Голь, О. М. Бердников

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МЕРЕЖІ IP/MPLS ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ QoS

Анотація. Розглянуто та проаналізовано можливості, які надає мережа IP/MPLS для імплементації механізмів якості обслуговування QoS. Розглянуто перспективи використання QoS бази мереж, побудованих на технології IP/MPLS залежно від можливостей, які надає багатопрокольна комутація за мітками, виконано огляд особливостей основного протоколу резервування ресурсів для застосування механізмів якості обслуговування та проаналізовано переваги даної мережі. Методи QoS покликані мінімізувати рівень затримок для чутливого до них трафіку, наприклад голосового, і одночасно гарантувати середню швидкість і динамічну передачу пульсацій для трафіку даних.

Ключові слова: багатопрокольна комутація по мітках (MPLS); якість обслуговування (QoS); протокол резервування ресурсів (RSVP); IP-мережа; управління трафіком, пропускна спроможність.

Вступ

В даний час разом з планомірним збільшенням швидкостей передачі даних в телекомунікаціях збільшується частка інтерактивного трафіку, вкрай чутливого до параметрів середовища транспортування. Тому завдання забезпечення якості обслуговування (QoS) стає все більш актуальним. Зокрема, QoS має на увазі рішення наступних завдань:

- визначення пріоритетів і диференціювання трафіку;
- забезпечення інформаційних потоків необхідними мережевими ресурсами;
- підвищення надійності передачі;
- запобігання мережевим перевантажень;
- формування мережевого трафіку для згладжування і створення більш рівномірного потоку.

Ці завдання в сукупності вирішують основну проблему QoS – забезпечення гарантованого та/або диференційованого обслуговування трафіку мережі, за запитами тих чи інших додатків на основі різних механізмів розподілу ресурсів. За допомогою технології QoS можна гарантувати, що у користувачів не виникне проблем при скачуванні файлів, відеодзвінках, розмовах по IP-телефонії, перегляді будь-яких онлайн-документів в локальній або глобальній мережі.

Очевидно, що все більшу частину трафіку в IP-мережах становить інтерактивна інформація, чутлива до затримок і гарантованої доставки. Максимальна затримка не повинна перевищувати декількох десятих часток секунди, причому сюди входить і час обробки інформації на кінцевій станції. Отже, пристрої IP-мережі повинні мати можливість диференційованого обслуговування різних типів мережевого трафіку в залежності від пропонованих ними вимог.

В свою чергу технологія MPLS - це механізм передавання даних, який емулює різні властивості мереж із комутацією каналів поверх мереж із комутацією пакетів [1]. Тому MPLS дозволяє спростити

адміністрування самої мережі, додавши нові функціональні можливості, особливо цікаві для управління QoS. MPLS пропонує механізм ефективної ієрархічної маршрутизації, тобто тунелі, що дозволяють керувати віртуальними приватними мережами. Переваги від об'єднання цих механізмів буде проаналізовано у даній статті.

Постановка задачі

Одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення систем і мереж зв'язку, які б надавали користувачу весь спектр телекомунікаційних послуг з необхідною якістю. Це може бути досягнуто за рахунок використання мультисервісних мереж зв'язку, побудованих за допомогою перспективних технологій (з розділенням телекомунікаційних функцій і функцій надання послуг). З'явилася необхідність у впровадженні додаткових сервісних послуг з високою якістю й більш ефективними мережевими технологіями, які забезпечують конвергенцію мереж, підтримують як нові послуги так і ті, що існують.

Виходячи з таких завдань на перспективу розвитку транспортної мережі необхідно здійснити аналіз наявних механізмів імплементації якості обслуговування (QoS) для мінімізації рівня затримок для чутливого до них трафіку, наприклад голосового, і одночасно гарантувати середню швидкість і динамічну передачу пульсацій для трафіку даних.

Використання багатопрокольної комутації за мітками дозволить удосконалити сучасної мережу інфраструктури на основі використання оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дасть змогу об'єднувати різні типи середовищ і системи передавання інформації [2].

Для збільшення пропускної спроможності необхідно спростувати вимоги до обробки пакетів із забезпеченням відповідного рівня якості. Тому при

проектуванні мереж важливими є завдання з вибору технології і методів маршрутизації, а також механізмів забезпечення та впровадження якості обслуговування для побудови транспортної мережі.

Правильне застосування, а перед цим вибір релевантного, методу QoS на основі транспортної мережі дозволить передавати одночасно трафік різного типу, наприклад, веб-трафік і голосовий, оскільки різні типи трафіка пред'являють різні вимоги до характеристик QoS.

Тому метою статті є проведення аналізу у області існуючих механізмів управління трафіком для забезпечення якості обслуговування з результатом у вигляді рекомендацій щодо вибору необхідного механізму QoS відповідно до наявних ресурсів мережевого обладнання та запитів користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Правильне розуміння аналізу останніх досліджень і публікацій залежить від загального розуміння наявних методів забезпечення механізмів якості обслуговування.

На даний момент можна виділити декілька методів управління трафіком, які застосовуються на різних рівнях мережі OSI та залежно від типу мереж і наявних ресурсів для забезпечення послуг QoS.

Найпростіший метод – динамічна маршрутизація (RIP, OSPF, IGRP, BGP) і т.д.). Оскільки це найпримітивніший метод, він не працює саме з типом трафіку, але є механізм зміни маршруту при зміні значень метрики, тобто якості обслуговування виражається через вибір найкоротшого шляху доставки даних. Також можливий варіант реалізації через використання поля CoS, призначеного для зазначення класу трафіку. До цих методів можна додати ще можливість формування віртуальних мереж на рівнях L2 і L3, а саме протоколи VLAN – вони забезпечують підвищений рівень безпеки, але не здатні резервувати смугу.

Найзручнішим є використання спеціального протоколу резервування ресурсів RSVP, що дозволяє зарезервувати для заданої віртуальної мережі певне значення смуги пропускання.

Розробці вузькоспеціалізованих методів управління потоками даних та забезпечення якості обслуговування трафіка присвячена велика кількість досліджень. Так, в роботі [3] пропонується метод балансування трафіка, заснований на використанні децентралізованої накладеної мережі, що самоорганізується, з прогнозуванням інтенсивності вхідного трафіка, який дозволяє розподіляти надлишкове навантаження за маршрутами, незадіяним у випадку традиційної маршрутизації за найкоротшим шляхом. У статті [5] проведено аналіз механізмів балансування мережевого трафіка. Показано, що рішення, які застосовуються є недостатніми для забезпечення ефективного використання існуючої мережевої інфраструктури.

У статті [2] запропоновано потокову модель багатошляхової маршрутизації з гарантіями якості обслуговування. Отримано в аналітичному вигляді умови забезпечення якості обслуговування одночас-

но за множиною різнорідних показників – швидкості передачі, середньої затримки та ймовірності втрат пакетів, забезпечується мінімальна та рівна для всіх розрахованих шляхів середня затримка, що сприяє мінімізації джитера пакетів, обумовленого реалізацією багатошляхової стратегії маршрутизації.

Кожна розглянута вище робота вирішує вузькоспеціалізоване завдання щодо управління трафіком та якості обслуговування, тому необхідно забезпечити загальний механізм вибору для усіх випадків.

Виклад основного матеріалу

Управління трафіком є проблемою, що є актуальною уже останні кілька років (якщо не брати до уваги складову, пов'язану з керуванням перевантаженням).

Зараз усі провайдери намагаються надати клієнтам додаткові інформаційні послуги: IP-телефонія, відеоконференції, відео-телефонія і т. д. Клієнти ж шукають не просто доступ до мережі Інтернет, а й цікавляться пропускнуою здатністю, безпекою, стабільністю зв'язку. З цієї причини усі, хто надають послуги приділяють підвищену увагу засобам управління трафіком (TE) і QoS.

Якщо ж брати до уваги технології багатопроTOCOLьної комутації по міткам, то вони дозволяють розв'язувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів усередині мережі оператора вздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів зі збалансованим розподілом завантаження ресурсів (*Traffic Engineering, TE*) [1].

Маючи цілу низку переваг, ця технологія доповнює IP-мережі своїми перевагами, а також сприяє впровадженню протоколу IP, як універсального транспорту для всіх видів додатків. У разі застосування MPLS як базового механізму комутації можна спростити розвиток операторських мереж IP, об'єднати різні технології доступу, підвищити масштабованість маршрутизації IP і зробити мережі IP повністю придатними для передавання голосу і відео.

Порівнюючи з IP, основною перевагою MPLS є комутація за мітками і поділ керуючої складової трафіку з транспортною. Комутація за мітками дає змогу створювати сервіси, які важко або неможливо реалізувати на базі IP. Окрім того, порівняно з іншими типами мереж MPLS мережа має нижчу надлишковість (співвідношення корисної і службової інформації).

MPLS розглядається як ефективна й економічна основа для мультисервісного транспорту, а сучасні комутуючі маршрутизатори LSR здатні одночасно (і з однаковою продуктивністю) обробляти трафік [4].

Будь-яка мережа, у тому числі й мережа із MPLS, містить у собі розподіл ресурсів пропускнуої спроможності між набором заданих шляхів з кому-

тацією по мітках **LSP** (Label Switched Path) і перетворення їх у фізичну мережу трактів з обмеженням продуктивності.

Сьогодні методи забезпечення QoS займають одне з найважливіших місць в арсеналі технологій мереж з комутацією пакетів, так як без їх застосування неможлива робота сучасних мультимедійних додатків. Ці методи оперують параметрами, які характеризують швидкість передачі даних, затримку передачі і втрату пакетів.

Для прикладу, на рис. 1 зображено вплив методів QoS на пропускну здатність каналу та його можливості. Звідси ми можемо бачити, що залежно від потреб користувача було вирішено значний відсоток

пропускну смуги каналу надати таким сервісам як потокове відео (відповідно і аудіо) та онлайн ігри, оскільки такі види даних потребують відносно високих швидкостей, ніж, до прикладу, перегляд веб-сторінок.

QoS представляє собою зібрання технологій, які дозволяють додаткам запитувати і отримувати передбачуваний рівень послуг з точки зору пропускну здатності, контролювати втрати пакетів, затримки під час їх передачі, а також загальної затримки доставки даних.

Зокрема, механізми якості обслуговування мають на увазі поліпшення параметрів для досягнення передбачуваності послуг, що надаються.

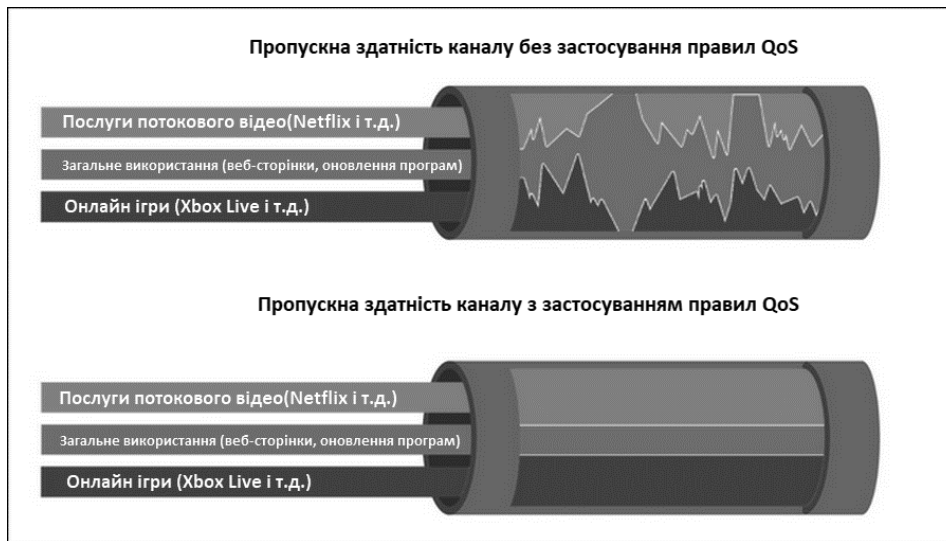


Рис. 1. Застосування правил QoS до пропускну здатності каналу

На даний момент можна виділити декілька методів управління трафіком, які застосовуються на різних рівнях мережі OSI та залежно від типу мереж і наявних ресурсів для забезпечення послуг QoS. Управління трафіком згодом дозволяє нам відносно цього трафіку застосовувати велику кількість механізмів QoS. Перший, і найпростіший метод для забезпечення мінімального QoS – динамічна маршрутизація (RIP, OSPF, IGRP, BGP) і т.д.). Як зрозуміло з назви, ці протоколи покликані будувати таблиці маршрутизації самі, автоматично, виходячи з поточної конфігурації мережі.

Крім того, що такі протоколи зручно використовувати у великих мережах, є і інші аспекти, наприклад, відмовостійкість. Маючи мережу зі статичною маршрутизацією, вам вкрай складно буде організувати резервні канали – нікому відстежувати доступність того чи іншого сегмента, тому завдяки динамічній маршрутизації це можливо зробити автоматично. Беручи до уваги стандартні уявлення про механізми QoS, тут немає засобів резервування смуги для певного виду трафіку, але є механізм зміни маршруту при зміні значень метрики або через вихід з ладу вузла або обриву каналу. Але протокол BGP, який використовується для прокладки шляхів між автономними системами не здатний будь-яким чином враховувати рівень TOS / QoS

(байти типу сервісу). Нова версія багато протокольного розширення MP-BGP спеціально створена для спільної роботи з MPLS при формуванні віртуальних мереж, але і він байдужий до TOS / QoS.

Аналіз можливостей мережі IP/MPLS для застосування механізмів QoS слід розпочати з розгляду структури заголовку MPLS, оскільки саме на його основі розпочинаються методи забезпечення механізмів якості обслуговування. Заголовок MPLS складається з декількох полів (рис. 2):



Рис. 2. Структура заголовку MPLS

- мітка (20 біт) – використовується для вибору відповідного шляху комутації по мітках;
- час життя (TTL) – це поле, що займає 8 біт, дублює аналогічне поле IP-пакета. Це необхідно для

того, щоб пристрої LSR могли відкидати пакети, які «заблукали» тільки на підставі інформації, що міститься в заголовку MPLS, не звертаючись до заголовку IP;

– клас послуги (**Class of Service, CoS**) – поле CoS, що займає 3 біти, спочатку було зарезервовано для розвитку технології, але останнім часом використовується в основному для вказівки класу трафіку, що вимагає певного рівня QoS;

– ознака дна стека міток – ця ознака (**S**) займає 1 біт. Саме така частина заголовку MPLS, як поле CoS, цікавить нас найбільше, оскільки саме вона дозволяє впроваджувати механізми якості обслуговування.

На вході в вузол пакет класифікується на основі інтерфейсу, **MF** (MultiField, один із способів проведення класифікації, аналізуються поля заголовків пакета – IP-адреса, порти, MAC-адреси) або його маркування. В свою чергу маркування – це значення полів **DSCP** (Differentiated Services Code Point, точка коду диференційованих послуг) в IPv4, Traffic Class в IPv6 і в MPLS або 802.1p в 802.1q.

Виділяють 8 класів сервісу, які агрегують в собі різні категорії трафіку. Кожному класу призначається свій PNB, що задовольняє вимогам класу. **Per-Hop Behavior** – це дії маршрутизатора з пакетом, а

саме кожен вузол на шляху трафіку самостійно приймає рішення про те, як вести себе відносно пакета, що прийшов, на основі його заголовків.

Згідно з рекомендаціями IETF, виділяються наступні класи сервісів, це CS1, CS0, AF11, AF12, AF13, AF21, CS2, AF22, AF23, CS3, AF31, AF32, AF33, CS4, AF41, AF42, AF43, CS5, EF, CS6, CS7 в порядку зростання важливості трафіку. Кожному класу ставиться у відповідність PNB, яких існує 3 – Default Forwarding, Assured Forwarding, Expedited Forwarding в порядку зростання строгості.

З них можна вибрати комбінацію з 8, які реально можна закодувати в поля CoS. Найбільш поширена комбінація: CS0, AF1, AF2, AF3, AF4, EF, CS6, CS7 з 3 градаціями кольору для AF (це модель поведінки з гарантованою пересилкою, тут присутні гарантії ширини смуги пропускання, але можливі плаваючі затримки у невеликій кількості).

Співтовариство IETF розробило настанови щодо налаштування класів обслуговування RFC 4594, що спрощує роботу мережевого адміністратора, оскільки визначили основні категорії програм і класи сервісу, що їх агрегують. Після аналізу документу, для того щоб вкластись у 8 можливих варіантів, було запропоновано рішення QoS для різних мереж (табл. 1).

Таблиця 1 – Рішення QoS для різних мереж

Назва класу обслуговування	Назва DSCP	Значення DSCP	Приклади додатків
Управління мережею	CS6, CS7	110000, 110000	Маршрутизація мережі
Телефонія	EF	101110	Носій IP телефонії
Мультимедійні конференції	AF41, AF42, AF43	100010, 100100, 100110	H.323/V2 відео конференції
Потокове мультимедіа	AF31, AF32, AF33	011010, 011100, 011110	Стрімінг відео та аудіо за потреби
Дані, що потребують низької затримки	AF21, AF22, AF23	010010, 010100, 010110	Транзакції клієнт/сервер, веб-замовлення
Високопродуктивні дані	AF11, AF12, AF13	001010, 001100, 001110	Додатки для зберігання та пересилання даних
Стандартний	DF (CS0)	000000	Недиференційовані додатки

Формування віртуальних мереж на рівнях L2 і L3, а саме протоколи VLAN – забезпечують підвищений рівень безпеки, але не здатні резервувати смугу. На каналному рівні маркування пакетів відбувається відповідно до стандарту 802.1p. Поле CoS займає 3 біти в 4-байтовому заголовку 802.1Q, який містить **p-тег**, який визначає пріоритет і ідентифікатор VLAN.

Всього може бути встановлено до 8 класів обслуговування даних, описаних у стандарті 802.1D. Виходячи з усього цього, необхідною умовою маркування CoS є тегування трафіку за технологією VLAN. Таке маркування QoS можливо тільки в межах локальної мережі, так як при проходженні пакетів крізь маршрутизатор VLAN теги видаляються.

Одним із відносно нових інструментів також є використання пріоритетів в рамках протоколу IPv6,

хоча і не набув широкого використання. Протокол надає можливість присвоєння потокам міток, а це полегшує, наприклад, поділ аудіо- і відеоданих.

MPLS – це технологія, яка визначає напрямок розвитку майбутніх IP-мереж з урахуванням Інтернету. Технологія комутації міток – це універсальне рішення проблем QoS, з якими стикаються сучасні пакетні мережі, рішення, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацію розподілу трафіку та ефективну маршрутизацію в пакетних мережах [6].

Управління трафіком MPLS дає нам низку переваг – виключається необхідність ручної конфігурації мережевих пристроїв, щоб задати певні маршрути (замість цього, можна покластися на можливість управління трафіком, що надаються MPLS); проводиться оцінка смуги каналу і значення трафіку

при прокладанні маршруту через опорну мережу; має механізми динамічної адаптації, які дозволяють зробити опорну мережу стійкою до відмов навіть в умовах, коли кілька шляхів були розраховані в режимі off-line.

Відповідно до методів управління трафіком варто виділити основний спосіб управління і конфігурування QoS, а саме протокол резервування ресурсів RSVP. Якщо мережеві умови дозволяють, то, використовуючи протокол RSVP (де QoS задається в специфікації потоку (*flowspec*), можна зарезервувати для заданої віртуальної мережі певне значення смуги пропускання. Слід мати на увазі, що протокол RSVP пристосований в основному для резервування певного значення смуги пропускання, а не довільного QoS для існуючого віртуального з'єднання. Якщо віртуальне з'єднання розірвано, слідом переривається і все резервування. Варто зазначити, що RSVP може працювати як з TCP- так і з UDP-сесіями поверх IPv4 і IPv6. Сама ж сесія резервування ініціюється одержувачем даних. Протокол RSVP визначає режим резервування (спосіб об'єднання декількох заявок для одного і того ж інтерфейсу), формування резервування і його підтримки в умовах відсутності підтримки даного протоколу в одному або декількох вузлах віртуального шляху, пересилання QoS-запитів іншим маршрутизаторів і т.д., але рішення приймаються маршрутизатором локально без знання умов в решті частини шляху. З цієї причини тут не може йти мова про мінімізацію затримки, забезпеченні надійності або безпеки, хоча в перспективі це може стати можливим.

Через те, що ініціатором резервування в RSVP завжди є клієнт можуть виникнути проблеми при спробі централізованого управління QoS за допомо-

гою RSVP. Отже, реалізація управління QoS передбачає організацію ефективної системи моніторингу базових параметрів, що характеризують необхідний рівень QoS. Для цього потрібно контролювати рівень інформаційних потоків в усіх фрагментах VPN, постійно вимірювати значення RTT (час затримки) і його дисперсії, контролювати рівень ймовірності втрати пакетів у всіх фрагментах віртуального шляху.

Основною відмінністю між CR-LDP і RSVP є протокол передачі, який використовується цими двома, і напрямок резервування ресурсів у прямому або зворотному напрямку виконання.

Таким чином, упровадження MPLS дає змогу підвищити рівень сервісу, надати затребувані послуги на базі IP (із гарантованим рівнем якості) і послуги конвергентних мереж для корпоративних клієнтів, наприклад передавання голосу поверх IP (VoIP).

Висновки

Таким чином, у сфері майбутніх телекомунікацій MPLS відведено роль провідної технології. Її розглядають як фундамент для інфраструктури мереж наступного покоління і надання нових послуг, яка уможливить ефективніше передавання великих обсягів трафіку в магістральних мережах.

Результатом аналізу можливостей мережі IP/MPLS для застосування механізмів QoS стала таблиця з рекомендаціями, щодо застосування варіантів класифікації трафіку відповідно до типів трафіку.

А ідея, що лежить в основі всіх методів підтримки характеристик QoS, полягає в нерівномірному, тонкому перерозподілі наявної пропускної спроможності між трафіком різного типу відповідно до вимог додатків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захватов М. А. Вопросы безопасности в MPLS сетях. *Документальная электросвязь*. 2016. №13. С. 76-78.
2. Лемешко А. В., Евсеева О. Ю. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантией качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей. *Проблемы телекоммуникаций*. 2012. № 4 (9). С. 42-46.
3. Дорт-Гольц А. Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных сетях связи: дисс. канд. ... техн. наук, спец. 05.12.13. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014. 168 с.
4. Rosen E. RFC 2702. Multiprotocol Label Switching Architecture. September 2016. 42 p.
5. 6. Кротов В.Д., Ткаченко А.Л., Науменко О.Г. Аналіз методів управління трафіком при забезпеченні QoS в мобільних радіомережах тактичної ланки управління. *Збірник наукових праць ВІПТ*. № 1. 2019. С. 49-56.
6. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. MPLS технология и протоколы. СПб.: БХВ, 2005. 304 с.

Received (Надійшла) 12.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2021

Analysis of IP / MPLS network possibilities for application of QoS mechanisms

N. Yemets, V. Gol, O. Berdnykov

Abstract. This article discusses and analyzes the opportunities provided by the IP / MPLS network for the implementation of QoS quality of service mechanisms. Prospects for the use of QoS-based networks based on IP / MPLS technology depending on the capabilities provided by multi-protocol label switching, review the features of the basic protocol of resource reservation for the application of quality of service mechanisms and analyze the benefits of this network. QoS methods are designed to minimize the level of delays for sensitive traffic, such as voice, and at the same time guarantee the average speed and dynamic transmission of ripples for data traffic.

Keywords: multiprotocol label switching (MPLS); quality of service (QoS); resource reservation protocol (RSVP); IP network; traffic engineering, bandwidth.

В. С. Яровий¹, Г. Д. Радзівілов¹, М. В. Борисенко², В. В. Куценко³

¹ Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут, Київ, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Київ, Україна

³ Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки, Київ, Україна

МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ПОРТАТИВНИХ РАДІОСТАНЦІЙ MOTOROLA

Анотація. У зв'язку з постачанням до України портативних радіостанцій закордонного виробництва на новій елементній базі та внаслідок розвитку вітчизняного й неоригінального виробництва джерел живлення до них виникає необхідність в проведенні контролю їх технічних характеристик на відповідність їх показників джерелам живлення оригінального виробництва. У статті на основі раніше проведених досліджень вперше висвітлено питання щодо діагностування джерел живлення портативних радіостанцій транкінгового зв'язку виробництва компанії Motorola та акумуляторних батарей неоригінального виробництва за технологією компанії Motorola на предмет відповідності заявленим технічним характеристикам, запропоновані методики перевірки характеристик акумуляторів, досліджені можливості тестування акумуляторів за допомогою спеціального програмного забезпечення, запропоновано перевірки можливості визначення дати виготовлення складових акумуляторів до портативних радіостанцій Motorola (вбудованих літій-іонних акумуляторних елементів).

Ключові слова: діагностування, джерело живлення, радіостанція, зв'язок, Motorola.

Вступ

Постановка проблеми. Для вирішення завдання щодо закупівлі нових, а саме головне, якісних джерел живлення до портативних радіостанцій транкінгового зв'язку виробництва компанії Motorola, необхідно розглянути технічні характеристики штатних акумуляторних батарей (АКБ) виробництва компанії Motorola та АКБ неоригінального виробництва, їх параметри, що підлягають діагностуванню, а також розглянути засоби діагностування та методики його проведення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дозволяє зробити висновок, що закупівля АКБ виробництва компанії Motorola вимагає затрати не малих коштів. На ринку нашої держави з'являються АКБ до радіостанцій Motorola неоригінального виробництва за технологією компанії Motorola, вартість яких суттєво відрізняється у меншу сторону від оригіналу [1]. З урахуванням потреби у економії коштів виникає необхідність участі в торгах на придбання АКБ неоригінального виробництва, але тільки за умови відповідності їх технічних показників АКБ оригінального виробництва або, навіть, їх покращення. Тому, з метою перевірки технічних характеристик АКБ виникає необхідність діагностування їх технічного стану [2-10]. У відомих публікаціях розглядаються питання контролю та діагностування технічного стану радіотехнічних засобів, у тому числі апаратури зв'язку [11-17]. Однак у цих роботах відсутні результати дослідження технічних характеристик АКБ радіотехнічних засобів та апаратури зв'язку.

Метою статті є розробка методики діагностування технічних характеристик АКБ виробництва компанії Motorola.

Виклад основного матеріалу

Для здійснення технічного діагностування технічного виробу необхідно [18, 19]:

встановити показники і характеристики діагностування;

забезпечити пристосованість виробу до технічного діагностування;

розробити діагностичне забезпечення виробу.

Розглянемо характеристики АКБ до портативних радіостанцій транкінгового зв'язку виробництва компанії Motorola [20].

Оригінальний акумулятор Motorola PMNN4493 сумісний з радіостанціями MotoTRBO серії DP2000 і DP4000. Батарея має збільшену ємність – 3000 мА/год, використовує інтелектуальну систему заряду IMPRES і забезпечує роботу в цифровому режимі до 28 годин. Незважаючи на літій-іонний тип хімічних елементів оригінальний акумулятор забезпечує роботу на морозі до -10°C . Має захист від зовнішніх впливів за класом IP68.

IMPRES (Intelligent Motorola Portable Radio Energy System) – запатентована технологія інтелектуального керування живленням портативних радіостанцій Motorola. Це цілий програмно апаратний комплекс рішень переслідує одну мету – збільшити час роботи і термін служби АКБ, а також забезпечити безперервне функціонування системи радіозв'язку. Система дозволяє зчитувати і зберігати інформацію про кожній батареї, рахує кількість циклів заряджання/розряджання, вимірює реальну ємність і прогнозує заміну парку акумуляторів.

Батареї з префіксом IMPRES взаємодіють із зарядним пристроєм і обмінюються даними про процес заряду, температури, ємності та струму заряду. При використанні спеціального програмного забезпечення (СПЗ) ці дані систематизуються та зберігаються в електронному вигляді. Спеціальні алгоритми заряду дозволяють нам використовувати весь потенціал акумуляторної батареї IMPRES з максимальною ефективністю протягом усього терміну експлуатації.

Акумулятор Motorola PMNN4493 має літій-іонний тип елементів, що істотно знижує вагу бата-

реї в порівнянні з нікель-кадмієвими або нікель-метал-гідридними, таким чином вдається зменшити вагу радіостанції і збільшити час роботи абонентської радіостанції [1].

Параметри АКБ Motorola PMNN4493 IMPRES:
ємність АКБ – 3000 мА/год;
робоча напруга – 7,4 В;
тип хімічного елементу – LiIon;
вага (без кліпси) – 152 г;
габаритні розміри – 52x112x23 мм;
кількість циклів заряджання / розряджання – до 300;

розрахунковий час роботи (5/5/90) в аналого-вому режимі – до 21,5 год;

розрахунковий час роботи (5/5/90) в DMR режимі – до 28 год;

температура експлуатації – від –10 до +60°C;

виникнення “ефекту пам’яті” – ні;

використання технології IMPRES™ – так;

стандарт вибухобезпеки – ні;

стандарт захисту від впливу – IP68.

Щодо терміну придатності АКБ Motorola, в силу хімічної природи вмісту АКБ всі вони мають обмежений термін зберігання незалежно від того, були вони в експлуатації чи ні. І якщо акумулятори нікель-метал-гідридного типу можуть зберігатися до п’яти років, то сучасні літій-іонні акумулятори Motorola мають термін зберігання не більше двох років. Важливо, що купівля АКБ із закінченням терміну придатності це марна трата коштів.

Для визначення дати виготовлення АКБ компанія Motorola розробила маркування, яке дозволяє легко визначити рік виготовлення. Воно завжди розташоване поруч зі штрих-кодом на зворотному боці АКБ і представлене у вигляді трьох або чотирьох цифр, перші дві (одна для 2000-х років) – це останні дві цифри року, в якому була виготовлена АКБ, а другі дві – тиждень. Наприклад, код 1224, означає те, що батарея виготовлена у 2012 році, дата виготовлення в межах 24-го тижня року, таким чином, рік виготовлення можна визначити в межах одного десятиліття.

Підроблені (неоригінальні) АКБ Motorola PMNN4493 мають несумісність з оригінальними зарядними пристроями Motorola IMPRES. Зарядний пристрій або не розпізнає батарею, або не буде контролювати процес заряду підробленого акумулятора і батарея швидко вийде з ладу в результаті багаторазового перезарядження.

Ємність АКБ не відповідає заявленим параметрам. У всіх випадках виявлення підробок їх реальна ємність нижче заявленої до 50% від зазначеної величини.

Всередину корпусу ставлять або “відбраковування”, або найдешевші хімічні елементи.

Відсутність термоелементів, контролюючих струм заряду, що так само забезпечують безпеку при короткому замиканні або виході з ладу зарядного пристрою. Навіть якщо заряд підробленого АКБ почався, зарядний пристрій не зможе розпізнати момент повного заряду, акумулятор перегріється та може спалахнути. Регулярне використання в такому

режимі швидко виведе з ладу АКБ через десятків циклів.

Низька якість використовуваних хімічних елементів. У підроблені АКБ ставлять найдешевші хімічні елементи і про реальну ємність і морозостійкість можна тільки здогадуватись.

Відсутність герметизації корпусу та контактної групи призводять до неминучого потрапляння вологи всередину і, як наслідок, непередбачуваних наслідків. З огляду на відсутність термозахисту у підробленій батареї, пошкоджена схема живлення може стати причиною пожежі виробу при заряджанні.

Дешевий пластик ABS замість полікарбонату PC ML6339 – корпус легко колеться при падіннях на тверду поверхню, а з часом тріскається по швах і руйнується під впливом ультрафіолету.

Покриття контактної групи не забезпечує надійного контакту, а згодом окислюється і радіостанція перестає працювати в найнесподіваніший момент. Контакти живлення оригінальних акумуляторів Motorola завжди покриті сплавом золотистого кольору, який забезпечує безперебійне живлення пристрою довгі роки.

Збірка нутроців АКБ не витримує ніякої критики. Можна забути про вібростійкість підробленого акумулятора, при розтині ви виявите, що хімічні елементи або не закріплені, або посаджені на термоклеї і картонні прокладки.

Дослідивши характеристики АКБ оригінального виробництва і аналіз визначення підробок було розроблено та неодноразово реалізовано на практиці декілька методик діагностування АКБ за допомогою обладнання виробництва компанії Motorola з характерними невідповідностями неоригінальних АКБ.

Методика перша – перевірка характеристик АКБ.

Метою дослідження є перевірка можливості зчитування характеристик АКБ спеціальним пристроєм IMPRES Battery Data Reader (рис. 1) виробництва Motorola та апаратними засобами [21].



Рис. 1. Загальний вигляд IMPRES Battery Data Reader (фото пристрою)

Для початку дослідження, за допомогою шестимісного зарядного пристрою IMPRESS Adaptive Multi-Unit Charger (рис. 2) проводиться рекондиціонування (калібрування) АКБ до портативних радіостанцій Motorola, цикл розряджання/заряджання двох батарей. Для дослідження бралися дві АКБ, одна з

яких оригінального виробництва компанії Motorola, яка використовується в якості еталонної, а друга АКБ неоригінального виробництва. АКБ, що приймали участь у дослідженні повинні пройти три цикли розрядження/зарядження до 90% та повний заряд останнього циклу.



Рис. 2. Загальний вигляд IMPRESS Adaptive Multi-Unit Charger (фото пристрою)

Під час проведення операції з рекондиціонування шестимісний зарядний пристрій IMPRESS Adaptive Multi-Unit Charger [22] за допомогою вбудованого інформативного екрану відображає результати зчитування типу батареї, серійного номеру й дійсної ємності (рис. 3).



Рис. 3. Приклад відображення інформації про АКБ під час рекондиціонування на табло шестимісного зарядного пристрою IMPRESS Adaptive Multi-Unit Charger (фото пристрою)

Для перевірки можливості зчитування інформації про АКБ за допомогою апаратних засобів, використовується радіостанція DP4800, в меню якої в налаштуваннях відображається дата вводу в експлуатацію та стан АКБ (термін служби та остаточна ємність) (рис. 4).

Отже, якщо вказана інформація про АКБ неоригінального виробництва, які діагностуються, відповідає заявленим характеристикам внаслідок відображення та екранах діагностичного обладнання до, під час, та після калібрування, відображається, то можливо зробити висновок, що вказані батареї сумісні зі штатними зарядними пристроями

Motorola, та діагностичним обладнанням. Це означає, що за цією методикою можливо зробити висновок про конкурентоздатність неоригінальних АКБ перед оригінальними.

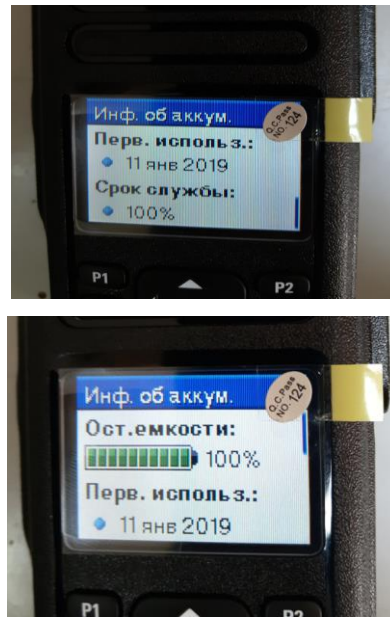


Рис. 4. Приклад відображення інформації про АКБ за допомогою радіостанції DP4800 (фото пристрою)

Методика друга – дослідження можливості тестування АКБ за допомогою СПЗ.

Метою дослідження є можливість діагностування АКБ за допомогою СПЗ пристрою IMPRES Battery Data Reader NNTN7392A [21], та відображення відповідної інформації про АКБ.

З використанням СПЗ IMPRES Battery Reader компанії Motorola, встановленого на ПЕОМ та самого спеціального пристрою IMPRES Battery Data Reader NNTN7392A проводиться діагностування АКБ виконаних за технологією IMPRES.

СПЗ відображає в діалоговому вікні ПЕОМ інформацію, яка міститься в EPROM внутрішній пам'яті (незалежна пам'ять) АКБ IMPRES, а саме: серійний номер АКБ, тип АКБ, рівень заряду, максимальну ємність, дату виробництва, дату введення в експлуатацію, кількість циклів калібрування (рис. 5).

Отже, слід зазначити, що якщо діагностування АКБ за цією методикою відбувається, і передбачені СПЗ параметри відображаються, то за результатами відображених результатів робляться висновки про відповідність чи не відповідність АКБ заданим технічним характеристикам, серійному номеру АКБ, типу АКБ, рівню заряду, максимальній ємності, даті виробництва, даті введення в експлуатацію, кількості циклів калібрування.

Методика третя – перевірка можливості визначення дати виготовлення складових АКБ до портативних радіостанцій Motorola (вбудованих літій-іонних акумуляторних елементів).

Метою дослідження є можливість визначення дати виготовлення складових представлених на тестування АКБ до портативних радіостанцій Motorola (вбудованих літій-іонних акумуляторних елементів).

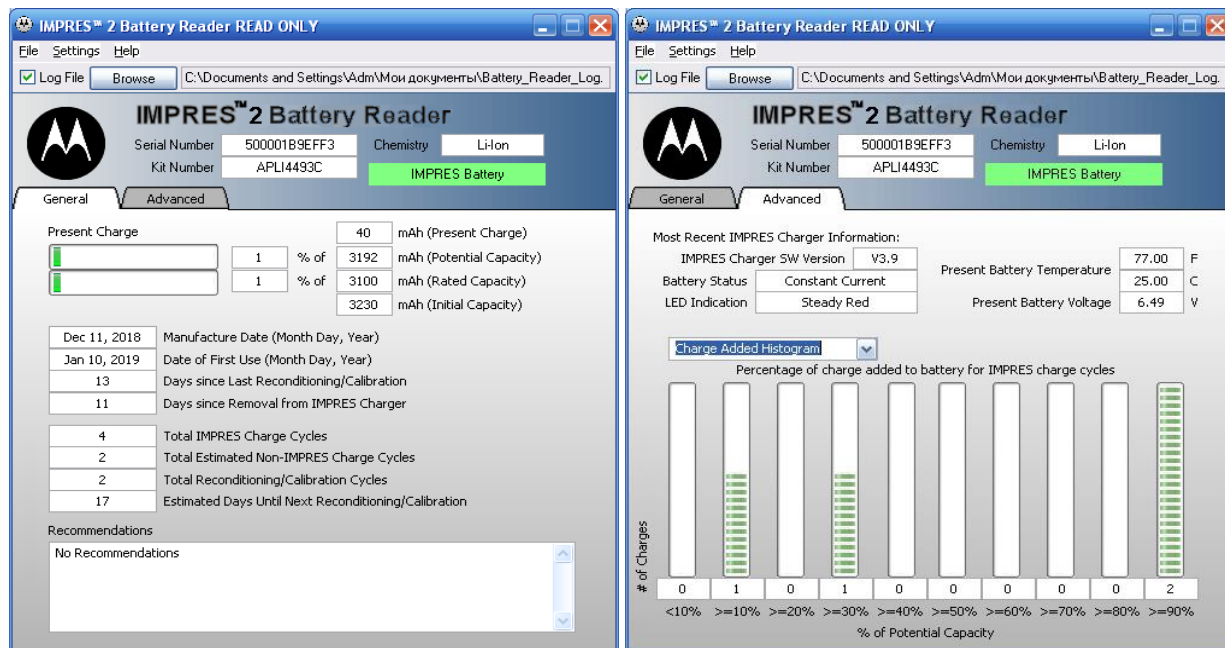


Рис. 5. Приклад відображення інформації про АКБ пристроєм IMPRES Battery Data Reader NNTN7392A з встановленим СПЗ компанії Motorola Battery Reader (розроблено авторами)

Відкривши механічним способом корпус акумуляторної батареї (рис. 6), візуально бачимо серійний номер літій-іонних акумуляторних елементів, нанесених на них.

За допомогою сайту www.batterybro.com (рис. 7) [22], шляхом введення у відповідні поля даних, нанесених на літій-іонних елементах, які вмонтовані в корпус акумуляторної батареї, визначаємо дату їх виготовлення.



Рис. 6. Відкрита АКБ (фото пристрою)

Таким чином, можливо звірити інформацію, про дату виготовлення акумуляторних батарей за допомогою СПЗ та шляхом механічного відкриття корпусу акумуляторної батареї і перевірки дати виготовлення акумуляторних елементів та зробити відповідні висновки.

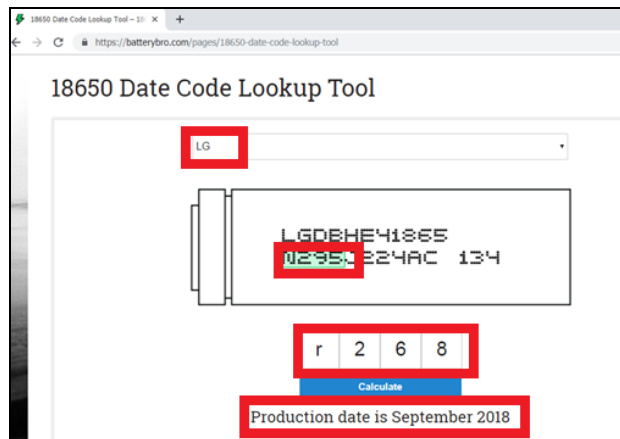


Рис. 7. Сайт для перевірки дати виготовлення літій-іонних акумуляторних батарей (фото пристрою)

Висновки

Результати аналізу технічних характеристик АКБ виробництва компанії Motorola, та виробників неоригінальних АКБ, практичних досліджень з їх діагностування показали, що запропоновані методики дають можливість визначити достовірність заявлених представниками виробника (постачальника) технічних характеристик АКБ до портативних радіостанцій виробництва Motorola.

У подальших дослідженнях не тільки доцільно, а необхідно проводити діагностування штатних акумуляторних батарей до портативних радіостанцій виробництва Motorola, які плануються на постачання в Україну під час проведення процедур закупівлі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Motorola PMNN4493 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://viva-telecom.org/12611/motorola/pmnn4493/>.
2. Herasimov, S., Pavlii, V., Tymoshchuk, O. and other (2019), Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis, Journal of Electronic Testing, vol. 35, is. 148, p.p. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10836-019-05798-9>.
3. Clarke, F. (2013), Functional analysis, Calculus of Variations and Optimal Control, New York: Springer, 606 p.

4. Herasimov, S., Roshchupkin, E., Kutsenko, V. and other (2020), Statistical analysis of harmonic signals for testing of Electronic Devices, International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 8 (7), 2020, p.p. 3791-3798. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/143872020>.
5. 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>
6. Herasimov S., Zhuravlev O., Borysenko M. The method of checks determining periods of technical state for unmanned air vehicle onboard equipment // Системи обробки інформації. – 2017. – Вип. 1 (147). – С.13-17.
7. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну 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>
8. Herasimov S., Timochko O., Khmelevskiy S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes // Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – Вип. 4 (53). – С. 148-152.
9. Zohuri B. (2020) Fundamentals of Radar. In: Radar Energy Warfare and the Challenges of Stealth Technology. Springer, Cham, 110 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40619-6_1.
10. 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>.
11. 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>.
12. 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.
13. 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>.
14. Herasimov S., Shapran Yu., Stakhova M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities // Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 1 (152). – С. 148-154. – DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
15. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. К.: ЦНДІ НіУ, 2007. Вип. 2. С. 18-27.
16. Melvin W. L. and Scheer J.A. (2013) Principles of Modern Radar: Advanced Technics, New York: SciTech Publishing, IET, Edison, 846 p.
17. Герасимов С.В., Шапран Ю.С., Кірвас В.В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – Вип. 4 (52). – С. 5-10.
18. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Наказ Держстандарту України №49 від 17 березня 1994 р.
19. Програма та методики проведення тестування акумуляторних батарей до портативних радіостанцій Motorola, затвердженої начальником військ зв'язку Збройних Сил України – начальником Головного управління зв'язку та інформаційних систем Генерального штабу Збройних Сил України 22.05.2019 року.
20. Willkommen bei Motcom Communication. Funk und Inhouse Lösungen auf die Sie sich verlassen können [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.motcom.ch/downloads/prospekt/de/IMPRES_Batterie_Reader_UserGuide_B.pdf.
21. Motorola IMPRES User Manual [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.manualslib.com/manual/833262/Motorola-Impres.html>.
22. The 18650 battery is the gasoline of the 21st century [Електронний ресурс] Режим доступу: www.batterybro.com.

Received (Надійшла) 19.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2021

Diagnostic method for Motorola handheld radio power supplies

Vitalii Yarovy, Grygoriy Radzivilov, Maksim Borysenko, Volodymyr Kutsenko

Abstract. The article considers ways to solve the problem of purchasing new, and most importantly, high-quality power supplies for portable trunking radios manufactured by Motorola used of Ukraine. The analysis of technical characteristics of standard batteries manufactured by Motorola and technical characteristics of non-original batteries has been carried out, parameters to be diagnosed are identified, as well as the means of diagnosis and methods of its implementation are considered. An analysis of recent research and publications allows us to conclude that the purchase of batteries manufactured by Motorola requires a considerable amount of money. Batteries for Motorola radios manufactured not by Motorola technology appear on the Ukrainian market, the cost of which is significantly lower than the original. Given the insufficient funding of Ukraine, there is a need to participate in the tender for the purchase of batteries of non-original production, but only if their technical characteristics match the original production or better. Therefore, in order to check the technical characteristics of batteries, it is necessary to diagnose their technical condition. The publications of well-known authors consider the issues of control and diagnosis of the technical condition of radio equipment, including communication equipment. However, these studies do not include the results of the study of the technical characteristics of the batteries of communication equipment. The purpose of the article is to reveal the technical characteristics of Motorola batteries, their advantages and to offer methods for checking the characteristics of batteries, researching the possibility of testing batteries with special software, checking determining the date of manufacture of components batteries for Motorola portable radios (built-in lithium-ion battery cells).

Keywords: diagnosing, source of power, radio station, communication, Motorola.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аненкова О. В.	27	Івохін Є. В.	48	Панова О. В.	87
Бараненко Р.	20	Іксариця В. В.	27	Плюта А. О.	69
Бараніченко О. М.	38	Калінін Є. І.	16	Рагімова І. Р.	73
Башенко Д. В.	59	Капітон А.	20, 52	Радзівілов Г. Д.	99
Бердников О. М.	94	Касаткіна Н. В.	87	Рибак О. В.	33
Бобров О. Г.	8	Кислиця С. Г.	11	Рибальченко А. О.	16
Борисенко М. В.	99	Клімов О. П.	8	Славуцький І. О.	27
Бугай В. С.	55	Кліщов Б. Р.	23	Тимофєєв В. Д.	8
Бут О. В.	44	Коваленко А. А.	63	Тищенко Д.	20
Ваврик П. Р.	48	Ковальова А. В.	90	Ткачов В. М.	63
Гавриленко В. В.	48	Коломійцев О. В.	16	Федотов Д. О.	8
Гальченко К. Р.	63	Конох К. М.	4	Філімончук Т. В.	69
Голоскокова А. О.	73	Король О. Г.	73	Франчук Т.	20
Голь В. Д.	94	Куценко В. В.	99	Черних О. П.	55
Горохівська Н. В.	8	Леонов С. Ю.	23	Чурбанов М. І.	27
Григоренко А. М.	4	Логвіненко О. П.	27	Шаповалова С. І.	38
Денисенко Я. Е.	83	Макогон О. А.	27	Шефер О. В.	83
Дяченко О.	52	Малохвій Е. Е.	55	Шматко О. В.	73
Ємець Н. І.	94	Мартиненко А. М.	44	Шматков В. А.	8
Єрмілова Н. В.	11	Масягін В. І.	4	Шостак А. В.	79
Єрошенко О. А.	63	Мелешко Є. В.	59	Якименко М. С.	59
Захаров Р.	52	Міхав В. В.	59	Янко А. С.	44, 83
Захарченко Р. В.	11	Молчанов Г. І.	55	Янчук Т.	52
Іванюк В. О.	4	Ніколаєв К. Д.	87	Яровий В. С.	99

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 4 (66)

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 № 19512-93/2ПП від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 2.12.2021. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 13,0. Тираж 120 прим. Зам. 1202-21

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (050) 302-20-71

Національний університет «Полтавська політехніка 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