

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 2 (68)

Issue 2 (68)

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 07 червня 2022 року № 13).

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 • 2022

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*);
КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович
(*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*);
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., Чернігів, 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, проф., 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*);
Oleksii KOLOMIITSEV
(*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*);
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., Chernihiv, 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.), 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>Левченко О. В., Мельник О. В.</i> Спосіб запобігання перевантажувальних режимів роботи головного дизельного двигуна	4
--	---

УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Євсеєнко О. М., Зуєв А. О., Євсіна Н. О.</i> Розробка програмно-апаратного комплексу імітатора поведінки об'єкта керування	9
<i>Zolotaryov V., Kratchaninov A., Piskun S., Bakanov K., Zaverukha V., Chalapko V.</i> Application of unconditional optimization methods in the development of integrated business models of production and consumption of infocommunications	15
<i>Калінін Є. І., Ткачов В. М., Лисиця Д. О., Рибальченко А. О.</i> Оптимальний параметричний синтез стохастичних систем управління кінцевим положенням	19
<i>Kapiton A., Baranenko R., Tyshchenko D., Franchuk T.</i> Development and implementation of customer relationship information management system	24
<i>Raskin L., Sukhomlin L., Sagaidachny D., Korsun R.</i> Management in high-dimensional Markov systems	27
<i>Толкунова Ю. М.</i> Розробка системи подолання перешкод для безпілотного літального апарату	32
<i>Khudaverdiyeva M.</i> Multiplicative approximation method of functional dependencies by line segments	37

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Васильєв І. О., Харченко В. С.</i> Фреймворк для метричного оцінювання систем штучного інтелекту на основі моделі якості	41
<i>Иценко І. А., Руденко О. А.</i> Розроблення мобільного застосунку у жанрі <i>endless runner</i> засобами ігрового рушія Unity	46
<i>Корсунська Я. Є., Ільїна І. В.</i> Дослідження методу кодування трафіка в захищених каналах передачі інформації	51
<i>Кучук Н. Г., Міхаль О. П., Шиман А. П., Науменко М. В.</i> Динамічна відеофіксація транспортних засобів для системи моніторингу руху у мегаполісі	55
<i>Макаренко О. І., Янко А. С.</i> Концепція системи виявлення та запобігання вторгнень до мережі	59
<i>Петров К. Е., Кобзев І. В.</i> Метод визначення переважності споживчих характеристик товару на основі інформації про його вибір покупцем	68
<i>Петровська І. Ю., Кучук Г. А.</i> Розподіл обчислювальних ресурсів у хмарних системах	75
<i>Прокопов В. В., Мелешко Є. В., Якименко М. С., Резніченко В. А., Шимко С. В.</i> Розробка системи виявлення кіберзагроз на основі аналізу даних з веб-ресурсів на мові програмування PYTHON	79
<i>Фахс М., Філатова Г. Є.</i> Функціональна модель електрокардіологічного дослідження	85
<i>Янко А. С., Вигівський Р. А.</i> Система захисту комп'ютерної мережі	91

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Герцюк М. М.</i> Модель математичного моделювання наслідків забруднення водою річок з використанням нейронної мережі, що базується на основі задач регресії	95
<i>Глива В. А., Бурдейна Н. Б., Зозуля С. В.</i> Дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочому місці користувача персонального комп'ютера з урахуванням електромагнітних чинників	99
<i>Кацман М. Д., Мацюк В. І., Ланін П. В.</i> Математичні моделі раціоналізації процесів організації ліквідації наслідків залізничних транспортних подій	102
<i>Левченко О. Г., Глива В. А., Тихенко О. М., Арламов О. Ю.</i> Особливості застосування екологічно безпечних рідинних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів	111
<i>Fedotov D., Serhieiev O., Bazeliuk V., Timofeev V., Moskalenko V., Taran O.</i> Technical aspects of psychophysical state simulating of military personnel in extreme and combat situations	115
<i>Ченчева О. О., Геращенко С. М., Фірсов С. А., Губачов О. І.</i> Особливості навчання цивільного населення навичкам надання домедичної допомоги під час бойових дій	120

ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Почерняєв В. М., Магомедова М. С., Сивкова Н. М.</i> Іоносферний зв'язок з використанням штучних іонізованих неоднорідностей	124
<i>Серков О. А., Бреславець В. С., Бреславець Ю. В., Яковенко І. В.</i> Механізми впливу зовнішнього електромагнітного випромінювання на працездатність апаратури зв'язку	129

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК	134
----------------------------------	-----

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 621.43

doi: 10.26906/SUNZ.2022.2.004

О. В. Левченко, О. В. Мельник

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

СПОСІБ ЗАПОБІГАННЯ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГОЛОВНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

Анотація. З розвитком науково-технічного прогресу виконання багатьох технологічних операцій на судах автоматизується. Весь комплекс завдань управління технологічними комплексами і технічними процесами, такими як стабілізація частоти обертання колінчастого валу суднового дизеля, підтримання напруги і частоти генератора на заданому рівні, стабілізація рівня і температури води в котлах, стабілізація судна на заданому курсі вирішується на базі обчислювальної техніки. Методи і алгоритми управління судном, експлуатації головних дизельних двигунів, реалізовані в існуючих комплексах засобів автоматизації (КЗА), забезпечують автоматичне керування режимами роботи головного дизельного двигуна (ГДВ). Для запобігання перевантажувальних режимів роботи головного дизельного двигуна та вироблення рекомендацій для прийняття рішень для зниження залежності показників тепломеханічного навантаження від зовнішніх факторів експлуатації обґрунтований та експериментально підтверджений спосіб обмеження впливу зовнішніх умов на теплову і механічну напруженість головних двигунів. Підтверджено гіпотезу про обмеження теплової та механічної напруженості головного двигуна шляхом зміни опору обертання гребного гвинта реалізацією струминного впливу на лопаті. На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що додаткова струминна подача води на лопаті гребного гвинта дозволяє виключити перевантаження головних двигунів за параметрами теплової та механічної навантаження в широкому діапазоні режимів роботи судна. Можливість збільшення ступеня завантаження головних двигунів при змінних умовах плавання незалежно від впливу зовнішніх факторів експлуатації сприяє раціональному використанню номінальної потужності, що позитивно вплине на собівартість морських перевезень та забезпечить безаварійну роботу судна.

Ключові слова: головні двигуни, гвинт фіксованого кроку, головна енергетична установка, пропульсивний комплекс, зовнішні фактори експлуатації.

Вступ

Удосконалювання технічної експлуатації суднової енергетичної установки (СЕУ) є одним із пріоритетних спрямованих стратегій розвитку водного транспорту. До основних задач технічної експлуатації головної енергетичної установки (ГЕУ) судна відносяться: запобігання перевантаження головного двигуна (ГД) в умовах плавання, що змінюються, збереження економічності і надійності протягом усього циклу експлуатації [5], виконання екологічних норм, досягнення необхідного конструктивного коефіцієнта енергетичної ефективності.

Реальні умови експлуатації (зовнішні фактори) впливають на показники роботи ГЕУ (довговічність, безвідмовність і ресурс), обмежуючи можливі режими роботи ГД на гвинт фіксованого кроку (ГФК). Навіть незначні відхилення зовнішніх факторів, таких як обростання корпусу, зміна метеорологічних та навігаційних умов плавання від прийнятих при проектуванні, відображаються на положенні гвинтової характеристики (ГХ) та призводять до збільшення матеріальних витрат на технічну експлуатацію суднової дизельної установки. Вплив зовнішніх факторів експлуатації на показники ГД визначається сукупністю параметрів та критеріїв, що формуються при проектуванні судна і його енергетичної установки, узгодженні режимів роботи ГД і гребного гвинта (ГГ).

Аналіз зміни ГХ, у залежності від зовнішніх факторів експлуатації, використовується для оцінки

теплової та механічної напруженості ГД. У технічній літературі й документації звичайно приводяться характеристики двигуна в залежності від частоти обертання при роботі двигуна за номінальною ГХ. При цьому, як правило, не акцентується увага на зміні теплової й механічної напруженості ГД при обваженні або полегшенні ГХ.

Це може привести до перевантаження ГД за показником теплової напруженості (за температурою відпрацьованих газів (ВГ)) та механічної напруженості (за обертальним моментом (ОМ) та максимальному тиску). Зростання теплової та механічної напруженості ГД понад проектні значення, як це відзначено, наприклад, у роботах Васильєва Б.В., Гіттиса В.Ю., веде до різкого зниження безвідмовності та ресурсу деталей [2].

Відповідність прийнятих при проектуванні та впливаючих на ГЕУ при експлуатації зовнішніх й внутрішніх факторів забезпечує збереження необхідних показників надійності ГД. При необхідності, характеристики ГЕУ працюючої на ГФК, корегуються регулюванням ГД та зміною конструкції ГГ. Становлять інтерес способи впливу на лопатеві рупії, які добре зарекомендували себе в суміжній області – аеродинаміці, що дозволяють коректувати режим роботи ГД в експлуатації.

Аналіз публікацій за темою дослідження. Особливості роботи двигуна на ГГ завжди були об'єктом пильної уваги вчених. Питання, зв'язані з проектуванням ГЕУ, особливості роботи ГД на ГГ, осо-

близькості використання його потужності описані в працях Кацмана Ф. М., Басіна А. М., Гаврилова В. В., Іванченко А. А., Сахарова В. В., Шишкіна В. А., Овсяннікова М. К. і ін. У зв'язку зі значним ускладненням, що спостерігається у конструкціях двигунів для підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) відзначається, на думку багатьох авторів, недостатня увага споживачеві механічної енергії на судні – гребному гвинту.

Метою статті є обґрунтування можливості виключення перевантажувальних режимів роботи головного дизельного двигуна шляхом обмеження впливу зовнішніх факторів експлуатації на його теплову та механічну напруженість за допомогою струминного впливу на гребний гвинт фіксованого кроку.

Основна частина

Взаємодія елементів ГЕУ та КС, що утворюють спільно пропульсивний комплекс (ПУ), моделюється за допомогою спільного рішення диференціальних рівнянь рівноваги сил, які діють на корпус судна, і моментів сил, які діють на ГГ.

Для судна, яке рухається прямолінійно, рівняння сил і моментів, що діють на ПК, описується наступними рівняннями.

Рівноважність сил, які діють на КС:

$$M_c = \frac{dv}{d\psi} = \sum P_B + R, \quad (1)$$

де M_c - маса судна з урахуванням маси доданої води (кг); v - швидкість руху судна (м/с); $\sum P_B$ - сумарна тяга гвинтів (Н); R - опір руху судна (Н).

Рівноважність моментів сил, які діють на ГГ:

$$2 \cdot \pi \sum j \cdot \frac{dn}{d\psi} = M_e + M_{TP} + M_B, \quad (2)$$

де $\sum j$ - момент інерції обертальних мас ГД, редуктора, валопроводу, які приведені до вісі ГГ та момент інерції ГГ (Н·с²·м); M_e - обертальний момент ГД (Н·м); M_{TP} - момент тертя в підшипниках валопроводу редуктора та муфт (Н·м); M_B - момент гідродинамічних сил, які діють на ГГ (Н·м).

Сумарна тяга ГГ визначається формулою:

$$\sum P_e = \sum P(1 - t), \quad (3)$$

де P - упор ГГ (Н); t - коефіцієнт засмоктування, який враховує вплив працюючих ГГ на опір корпусу судна.

Маса судна визначається за формулою:

$$M_c = (1 + K_n) \frac{\Delta}{g}, \quad (4)$$

де $K_n = 0,05 \div 0,15$ коефіцієнт доданої маси; Δ - масова водотоннажність судна (Н).

Система диференціальних рівнянь (1) та (2) дозволяє оцінити вплив зовнішніх умов на показники роботи ГД для всіх експлуатаційних режимів.

Для рівномірного прямолінійного руху одного гвинтового судна величина $\frac{dn}{d\psi}$ обертається в нуль, а рушійні сили (корисна тяга гвинта) P_e дорівнює та протилежне опору води та повітря R (Н) [6]:

$$P_e = R, \quad (5)$$

Буксировочна потужність, яка витрачається на рух судна (кВт):

$$N_g = P_e \cdot v, \quad (6)$$

Потужність, яка підведена до ГГ, визначається за формулою:

$$N_B = \frac{N_g}{\eta}, \quad (7)$$

де $\eta = \eta_b \cdot \eta_k = \frac{(1-t)}{(1-w_t)i}$ - пропульсивний коефіцієнт (0,45 ÷ 0,70); t - коефіцієнт засмоктування; w_t - коефіцієнт попутного потоку; i - коефіцієнт нерівномірності потоку в диску ГГ.

Ефективна потужність МОД, необхідна для руху судна з заданою швидкістю v , розраховується за формулою:

$$N_e = \frac{N_B}{\eta_{пер}} = \frac{Rv}{\eta \cdot \eta_{пер}}, \quad (8)$$

де $\eta_{пер} = \eta_{см} \cdot \eta_{вп}$ - ККД передачі (0,92 ÷ 0,97); $\eta_{см}$ - ККД зеднувальної муфти (0,95 ÷ 0,98); $\eta_{вп}$ - ККД валопроводу (0,95 ÷ 0,99).

Залежність потужності, які виробляється ГД та споживаною ГГ для досягнення заданої швидкості судна при повністю зануреному гвинті, представляється рівнянням вигляду:

$$N_e \approx C_1 \cdot v^a, \quad (9)$$

де C_1 - коефіцієнт ходової характеристики; $a = 2,8 \div 3,2$ для судів з помірною швидкістю.

Залежність потужності, необхідної для досягнення потрібної швидкості судна від зовнішніх умов експлуатації представляє собою кубічну параболу (рис. 1) та може бути представлена таким рівнянням:

$$N_e = \frac{v^{2/3} \cdot \psi^3}{C_a}, \quad (10)$$

де V - об'ємна водотоннажність судна, м³; v - швидкість судна у вузлах; C_a - адміралтейський коефіцієнт, визначений за результатами випробувань судів з однаковим числом Фруда та відомими початковими показниками потужності $N_{в0}$, водотоннажністю V_0 та швидкістю v_0 .

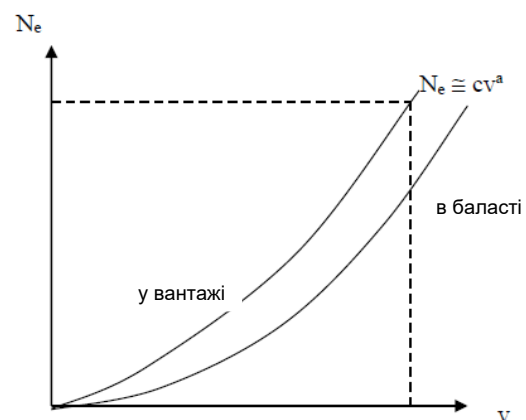


Рис. 1. Ходова характеристика судна

Практично вважається, що при сталості зовнішніх факторів експлуатації, таких як осад, стан моря, сила і напрямку вітру, швидкість судна прямо

пропорційна частоті обертання ГГ, і тоді потужність, яка підводиться до гвинта, описується такою залежністю:

$$N_e = c \cdot n^3, \quad (11)$$

де $c = \frac{6,29 \cdot K_2 \cdot \rho \cdot D^5}{\eta_{\text{пер}}}$ – коефіцієнт гвинтової характеристики; K_2 – коефіцієнт моменту ГГ; ρ – щільність води, D – діаметр ГГ.

Аналіз рис. 1 свідчить, що при зміні зовнішнього фактора експлуатації (осаду) відбувається зміна режиму роботи ГОД, що виражається в зміні його теплової та механічної напруженості. Вихід двигуна на номінальну частоту обертання при зниженій потужності знижує раціональність використання номінальної потужності. Подальший ріст споживаної потужності може привести до перевантаження двигуна по частоті обертання. Кривизна ліній (див. рис. 1) характеризується опором судна і визначає потужність, витрачену на рух з необхідною швидкістю.

Взаємне розташування ГХ (рис. 2, лінії 1-3), кожна з яких характеризується постійною відносною ходою, формується в залежності від конструктивних особливостей ГГ та КС, а також впливу зовнішніх експлуатаційних факторів.

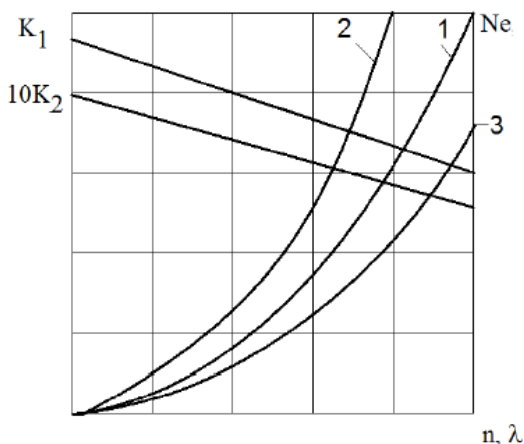


Рис. 2. Гвинтові характеристики двигуна, сполучені з характеристиками гребного гвинта, коефіцієнтами упору (K_1) і моменту (K_2):

1 – номінальна ГХ; 2 – обважена ГХ; 3 – полегшена ГХ

Сумарний вплив зовнішніх факторів експлуатації враховується через відносну ходу для ГГ. Зміна зовнішніх факторів експлуатації створює передумови до перевантаження двигуна по частоті обертання, потужності, теплової та механічній напруженості.

На рис. 3 показано сімейство гвинтових характеристик, сполучених із власними й обмежувальними характеристиками двигуна.

В експлуатації, для оцінки режиму роботи і навантаження головного двигуна, найбільше часто використовуються [8]: максимальний тиск згоряння (P_z), тиск наддуву (P_k), обертальний момент ($M_{кр}$) або середній ефективний тиск (P_e). Величина обертального моменту $M_{кр}$ на колінчатому валу двигуна в судових умовах оцінюється непрямым шляхом. "У ряді випадків при сталості ОМ, забезпечується зразкова сталість температури ВГ t_e " [18]. " У зв'язку

з вищесказаним, заводи звичайно як обмежувальну характеристику приймають характеристику $N_e = f(n)$ при $M_{кр} = const$, яка в координатах $N_e - n$ являє собою пряму лінію» [1].

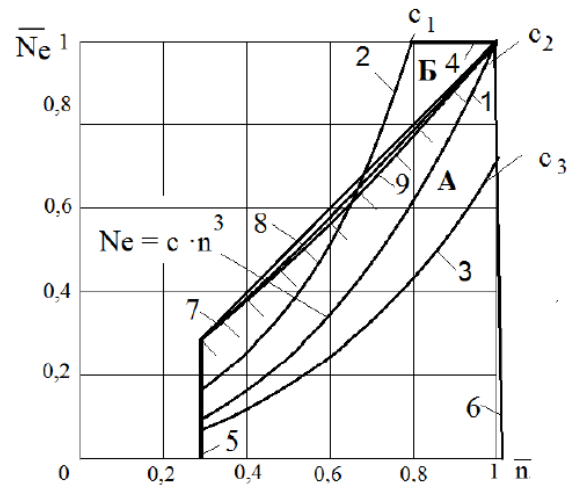


Рис. 3. Гвинтові характеристики двигуна сполучені з обмежувальними характеристиками: 1 - номінальна ГХ; 2 - обважена ГХ; 3 - полегшена ГХ; 4 - обмеження по потужності; 5 - обмеження по мінімальній частоті обертання; 6 - регуляторна характеристика; 7 - обмеження по МО; 8 - обмеження по механічній напруженості; 9 - обмеження по тепловій напруженості; А - область допустимих режимів роботи ГД; Б - область недопустимих і короткочасно допустимих режимів роботи

Теплову напруженість дизельного двигуна прийнято оцінювати по температурі денця поршня. У реальних умовах експлуатації, при неможливості конструктивно реалізувати вимір температури поршня двигуна, тепловий стан оцінюють по непрямому показнику - температурі ВГ.

Аналіз рисунка 3, виконаний на підставі приведених вище положень, підтверджує, що зона між лініями 2-3 представляє собою область можливих ГХ, кожна з яких відповідає своїм зовнішнім умовам. При цьому режим роботи ГД можна характеризувати взаємним розташуванням гвинтової та обмежувальної характеристик.

Запобігання перевантаження ГД, що працює безпосередньо на ГФК, забезпечується зміною режиму його роботи. У загальному випадку, основним методом управління двигуном є керування по збудуванню.

Наявність регулятора в системі двигун – ГГ має на увазі управління двигуном за допомогою:

- витрати палива при роботі двигуна по зовнішній номінальній або частковій характеристиці;
- витрати повітря;
- параметрів ГГ.

На підставі аналізу світового дизелебудування, встановлено, що неперевантажувальна робота ГД забезпечується в першу чергу регулятором частоти обертання (РЧО), що керує подачею палива в двигун і встановлює баланс між підведеною і відведеною енергією, при зміні умов експлуатації (зовнішніх факторів). Сумарний вплив зовнішніх умов оцінюється коефіцієнтом ГХ, що входить у формулу (11).

Проаналізуємо способи, які застосовуються в сучасному двигунобудуванні, для обмеження впливу зовнішніх умов на теплову і механічну напруженість ГД.

1. Обмеження експлуатаційної потужності головного двигуна.

Потужність ГД $N_{e\text{НОМ}}$, установленого на судні, визначається відповідно до рекомендацій заводу виготовлювача, з урахуванням статистичних результатів експлуатації судів даного типу, характеристик корпусу судна і гребного гвинта.

На рис. 4 показані три основних параметри, що формують експлуатаційний запас потужності ГД і призначені для компенсації [2]:

– зовнішніх факторів експлуатації (SM):

$$SM = \frac{N_{e\text{ОПТ}}}{N_{e\text{ЕКС}}}, \quad (12)$$

де $N_{e\text{ОПТ}}$ – потужність ГД для подолання проектного опору судна; $N_{e\text{ЕКС}}$ – потужність ГД для подолання максимального розрахункового опору судна, оптимальний діапазон (1,1; 1,25);

– внутрішніх факторів експлуатації (EM):

$$EM = \frac{N_{e\text{ОПТ}}}{N_{e\text{МДМ}}}, \quad (13)$$

де $N_{e\text{МДМ}}$ – максимальна рушійна потужність для подолання максимального розрахункового опору судна з урахуванням внутрішніх факторів, які впливають на робочий цикл дизеля, оптимальний діапазон (0,8; 0,9);

– закиду частоти обертання при роботі по полегшеній гвинтовій характеристиці (LRM):

$$LRM = \frac{n_{\text{НОМ}} - n_{\text{ОПТ}}}{n_{\text{МДМ}}}, \quad (14)$$

де $n_{\text{НОМ}}$ – номінальна частота обертання ГД; $n_{\text{ОПТ}}$ – частота обертання при максимальному розрахунковому опорі; $n_{\text{МДМ}}$ – частота обертання, що відповідає максимальній потужності ГД.

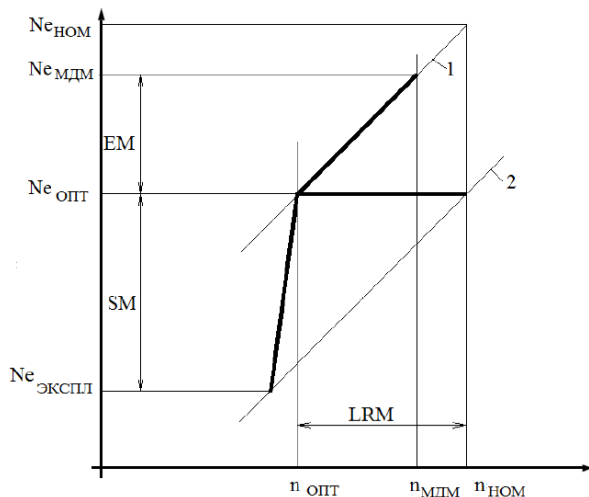


Рис. 4. Параметри, що формують експлуатаційний запас потужності: 1 – проектна ГХ; 2 – експлуатаційна ГХ при роботі ГД на полегшений ГГ

Узагальнивши рекомендації [7-9], можна констатувати, що в результаті прийнятих проектних допущень формується значний по величині запас по-

тужності ГД. У результаті ГЕУ судна характеризується підвищеною, щодо необхідною на розрахунковому режимі, потужністю ГД, який працює на "полегшений" ГД [9]. Це приводить до зниження використаної потужності на режимі, нерациональному використанню номінальної потужності.

2. Зниження впливу обростання елементів.

Збільшення затрачуваної буксировочної потужності (1) при обростанні елементів підвідної частини корпусу, вимагає застосування покриттів, які перешкоджають обростанню. Різні вимоги до якості покриття і періоду збереження необхідних якостей формують область можливих буксировочних опорів КС [5].

3. Зниження впливу атмосферних умов.

Виконується шляхом забору повітря з машинного відділення, при достатності витрати повітря, яке підводиться системою вентиляції.

4. Зниження втрат, що супроводжують роботу гребного гвинта.

Зменшення втрат, що супроводжують перетворення механічної енергії двигуна в рух судна, дозволяє не тільки підвищити ККД пропульсивного комплексу [3], але і знизити негативний вплив зовнішніх факторів експлуатації на режим роботи ГД.

За результатами дослідження сформовані і приведені в таблиці 1 основні заходи, спрямовані на зниження втрат і підвищення ефективності ГГ.

Серед можливих заходів, приведених у табл. 1, найбільше поширення одержали:

- корекція форми лопаті (кривизни, площі і т.п.);
- установка на лопатях гребного гвинта інтерцепторів (для гребних гвинтів швидкісних суден) або загин краю лопаті;
- направляючі насадки (по своєму призначенню можуть використовувати для підвищення упору гребного гвинта, швидкості судна і його маневреності, зниження негативних факторів роботи гребного гвинта в косому набігаючому потоці).

Характерною рисою всіх заходів, що негативно впливає на отриманий ефект, є неможливість регулювання впливу на енергетичну установку при зміні зовнішніх факторів експлуатації.

Висновки

1. У результаті аналізу літератури встановлено, що запобігання перевантажувальних режимів роботи головного дизельного двигуна, що працює на ГФК здійснюється за рахунок регулювання частоти обертання.

2. Такий спосіб керування приводить до істотної зміни теплової і механічної напруженості дизельного двигуна в умовах експлуатації, обмежуючи його експлуатаційні режими.

3. Робота головного двигуна на часткових навантаженнях негативно впливає на його ефективність, веде до недовикористання номінальної потужності, зниження швидкості руху судна. В умовах експлуатації утруднюється зміна налаштування регулятора частоти обертання в залежності від режиму роботи гребного гвинта, гідрометеорологічних факторів і характеристик корпусу судна.

Таблиця 1 – Заходи щодо підвищення ефективності гребних гвинтів фіксованого кроку

Захід	Результат
ГФК зі збільшеної саблевидністю	Збільшення запасу по кавітації і вібрації, збільшення ККД, зменшення дискового відношення
ГФК без кінцевих вихрів	Збільшення ККД гвинта на 10%
ГФК із інтерцепторами	Збільшення упора суперкавітуючих гвинтів на 100% при незмінному ККД
ГФК з відсосом	Можливість проектування гвинта з великим кроком при збереженні споживаної потужності
ГФК	Економія потужності на крупнотонажних судах до 13-15%. на швидкісних судах до 7%
Збільшення діаметра гребного гвинта	Зниження викликаних осьових швидкостей. Ріст ККД гребного гвинта, ріст коефіцієнта засмоктування
Установка за ГФК турбопропелера	Збільшення упора до 13 % при тій же споживаній потужності, підвищення ККД на 10 %
ГФК із потোকспрямованими профілями	Зменшення потрібної потужності на 7%т у сполученні з насадкою 8-9%
ГФК с контргвинтом	Збільшення упора на 13%. збільшення ККД на 10%
ГФК у направляючій насадці	Збільшення тяги на гаку, на швартових режимах 50%. при швидкості 10 км/год до 30%

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аксенов, А. А. К вопросу применения модели турбулентности $k-\epsilon$ FlowVision для исследования обтекания профиля крыла при малых числах Рейнольдса / А. А. Аксенов, С. В. Жлуктов, С. В. Калашников, А. Л. Митин // Инженерные системы -2017. Труды Международного форума. -2017. -С. 82–89.
2. Антоненко, С.В. Судовые движители: учебное пособие / С.В. Антоненко; Дальневосточный государственный технический университет. -Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. -126 с.
3. Аракелян, С. М. Методы вычислительной гидродинамики в расчетах движения жидкости в системах со сложной топологией: учеб пособие / С. М. Аракелян и др. -Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. -99 с.
4. Kim, J. H. Development of energy-saving devices for a full slow-speed ship through improving propulsion performance / J. H. Kim , J. E. Choi, B. J. Choi, S. H. Chung, H. W. Seo // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2015. -Volume 7. -Issue 2. -Pp. 390–398.
5. Mizzi, K. Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance / K. Mizzi , Y. K. Demirel, C. Banks, O. Turan, P. Kaklis, M. Atlar // Applied Ocean Research, -2017. -Volume 62. -Pp. 210–222.
6. Molland, A. Propeller Characteristics. In Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power. / A. Molland, S. Turnock, D. Hudson // Cambridge: Cambridge University Press. – 2017. -Pp. 277–312.
7. Nakisa, M. Numerical study on propeller performance for a vessel in restricted water / M. Nakisa, F. Behrouzi, A. Maimun, R. Samad, Y.M. Ahmed // Procedia Engineering. -2017. -vol. 194. -Pp. 128–135.
8. Nelson, M. Simultaneous optimization of propeller-hull systems to minimize lifetime fuel consumption. / M. Nelson, D. W. Temple, J. T. Hwang, Y. L. Young, R. A. Martins, M. Collette // Applied Ocean Research. -2013. -vol.43. -Pp. 46–52.
9. Nouri, N. M. Optimization of a marine contra-rotating propellers set / N. M. Nouri, S. Mohammadi, M. Zarezadeh // Ocean Engineering. – 2018. -vol. 167. – Pp. 397 – 404.
10. Osovskii, D.I. Power control of the engine operating on the fixed pitch propeller /D. I. Osovskii, A. S. Sharatov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -IOP Publishing Ltd, 2019. -Vol. 537. -Pp. 62

Received (Надійшла) 11.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.05.2022

A method for storing transvantage modes in the operation of the lead diesel engine

O. Levchenko, O. Melnyk

Abstract. With the development of scientific and technical progress, the number of technological operations on ships is being automated. The whole complex of control of technological complexes and technical processes, such as stabilization of the frequency of the wrapping of the crankshaft of a ship diesel engine, adjustment of the voltage and frequency of the generator at a given level, stabilization of the level of water in boilers, stabilization of the vessel at a given course Methods and algorithms for ship control, operation of the head diesel engines, implemented in basic automation systems, ensure automatic control of the modes of the head diesel engine. To prevent overloading of the main diesel engine and make recommendations for decision-making to reduce the dependence of thermomechanical load on external factors of operation, a well-established and experimentally proven way to limit the influence of external conditions on thermal and mechanical stress of main engines. The hypothesis about the exchange of thermal and mechanical stresses of the head engine by changing the support of the propeller screw wrap by implementing the strum injection on the blades was confirmed. Based on the substantiation of the results, it is possible to confirm that the additional strum water supply to the blades of the propeller screw allows turning on the revantation of the main engines for the parameters of thermal and mechanical stress in a wide range of modes of operation of the vessel. Possibility of increasing the level of engagement of the head engines with a change of minds, swimming is independent of the influence of the external factors in the operation, adhering to the rational variation of the rated pressure, which is positively dependent on the compatibility of sea transport and to ensure safety without accidents.

Keywords: head engine, fixed gear screw, head power plant, propulsion complex, main operating factor.

О. М. Євсєєнко, А. О. Зуєв, Н. О. Євсіна

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

РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ІМІТАТОРА ПОВЕДІНКИ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Анотація. Предметом дослідження є процес побудови структури стенда-імітатора та імітаційні моделі поведінки промислових об'єктів автоматизації. **Мета** статті – побудова апаратно-програмного комплексу імітації поведінки автомата видачі напоїв. **Завдання**, що вирішуються: опис алгоритму отримання інформації про об'єкт керування, аналіз структури і функцій об'єкта керування для побудови імітаційної моделі його поведінки, синтез рішення у вигляді апаратної та програмної частини. Застосовувані **методи**: теорія алгоритмів, методи і моделі оцінювання об'єктів, теорія багатофакторного експерименту, програмування програмованих логічних контролерів. Отримано **результати**: описано основні проблеми, які виникають при створенні рішень автоматизації промислових об'єктів; створено перелік вхідних-вихідних сигналів автомата видачі напоїв, за допомогою якого підібрано обладнання для створення апаратного та програмного комплексу; розроблено програмну частину з двох модулів: програми на програмованому логічному контролері та програми SCADA-системи. **Висновки**: для побудови імітатора об'єктів вихідною інформацією є перелік вхідних-вихідних сигналів, який складають за результатами опису поведінки об'єкта керування. При створенні стенда на програмованому логічному контролері необхідно враховувати, що перелік сигналів для побудови імітатора протилежний сигналам об'єкта керування. Використання розробленої програми імітатора об'єкта управління показало зниження часу тестування функціоналу на об'єкті, підвищило швидкість усунення багів у програмі, простоту тестування після додавання нового функціоналу.

Ключові слова: стенд-імітатор, SCADA-система, програмований логічний контролер, об'єкт керування, вендінг, автомат видачі напоїв, апаратно-програмний комплекс.

Вступ

Об'єкти автоматизації – це окремі установки, агрегати, комплекси машин та апаратів, якими потрібно керувати. Складність об'єкта автоматизації визначається ступенем його вивченості та різноманіттям виконуваних ним функцій. Для автоматизації об'єктів управління розробляються рішення із застосуванням контролерів, які для управління виконавчими механізмами використовують інформацію від датчиків. Розробка рішення з автоматизації зазвичай включає такі етапи:

1. Дослідження об'єкта керування. За результатами цього етапу складається документ, який називається «Портрет виробу». У ньому надається опис конкретного об'єкта автоматизації, перелік його функцій та вхідних-вихідних сигналів.

2. Створення технічного завдання.

3. Після погодження технічного завдання відбувається розробка рішення з автоматизації. Воно включає створення схем автоматизації, підбір і закупівлю обладнання, збір шафи автоматизації, розробку програмного забезпечення.

4. Розробка документації на розроблюване рішення. Це можуть бути керівництво з експлуатації та програмні документи, такі як: опис програми, керівництво користувача, керівництво оператора.

5. Пусконаладжувальні роботи. При пусконаладжувальних роботах відбувається візді фахівця на об'єкт, який у польових умовах тестує працездатність програми.

Кількість етапів та їх опис описується у [1]. Як показує практика, інженери, які розробляють рішення

для автоматизації, не мають безпосереднього доступу до об'єкта управління. Він може знаходитись на значній відстані від проектної організації. Оплата відряджень для розробки програми на об'єкті або постійні виїзди спеціалістів на об'єкт є витратними. Також об'єкт управління може бути складним або перебувати в експлуатації, і зупинка його роботи для тестування може завдати збитків підприємству.

На відміну від тестування програмного забезпечення, яке здійснюється за допомогою ручних або автоматизованих тестів, програмне забезпечення для автоматизованих систем ще потребує безпосереднього тестування на об'єкті. Тестування всього переліку функцій на об'єкті, необхідність усунення виявлених неточностей можуть тривати певний період і продовжити час перебування інженерів на об'єкті або призвести до повторного виїзду на об'єкт.

Тому при розробці систем управління стоїть завдання створення імітаційної тестової установки, за допомогою якої можливе тестування функцій системи. Створення такої установки для конкретного об'єкта також займає певний час і вимагає витрат на її створення, однак вона дозволить підвищити надійність системи, що розробляється, за рахунок безпосереднього тестування функцій.

До створення імітатора об'єкта управління потрібно підходити дуже відповідально. Для цього необхідно мати детальний опис поведінки об'єкта керування. Якість імітатора, що розробляється, залежить від того, наскільки якісно і вичерпно було проведено дослідження об'єкта управління.

Рішення про створення об'єкта-імітатора обумовлено тим, що автомат видачі напоїв містить ав-

томатику, яка здійснює переміщення пристроїв до моменту спрацювання кінцевого перемикача. Постійне тестування програми, що розробляється на об'єкті, і несвоєчасне відключення роботи механізму можуть призвести до псування обладнання. До того ж використання реальних інгредієнтів під час тестування може бути затратним.

Огляд існуючих рішень побудови стендів для об'єктів автоматизації

Системи імітації поведінки технологічних об'єктів на базі автоматизованих систем керування знаходять застосування при створенні навчально-тренажерних комплексів для навчання спеціалістів, студентів окремій темі. Наприклад, коли безпосередня взаємодія людини і об'єкта неможлива через її невідповідність. У той же час розробка стендів-імітаторів з програмним комплексом дозволяє набути спеціалісту практичних навичок.

Зазвичай створюють навчальні стенди загально-го призначення. У [2] створено навчальний лабораторний стенд на базі програмованого логічного контролера, що має 5 дискретних входів, 5 аналогових входів, 6 дискретних виходів та 3 аналогових виходи. Цей стенд призначено для вивчення особливостей побудови автоматизованих систем на контролері Freemix mini, вивчення протоколу Modbus RTU та створення простого інтерфейсу користувача. Програма контролера створюється користувачем самостійно.

У статті [3] також на базі програмованого логічного контролера (сенсорного контролера) побудовано комплексний стенд-імітатор для дослідження експлуатаційних характеристик сонячних панелей. По суті цей стенд також є навчальним і необхідний для підвищення професійної підготовки інженерів-електромеханіків для вивчення питань, пов'язаних з вивченням характеристик сонячних панелей. Проте програма стенда тестує саме сонячну батарею, а не створений програмний комплекс.

Тренажер-імітатор розроблено в роботі [4]. Наголошується, що динамічні тренажери дуже важливі для адаптації фахівців до поведінки реального об'єкта і вироблення ними вірних способів реагування в різних виробничих ситуаціях [4].

У роботі [5] створюється математична модель стартер-генератора, яка вбудована в стенд-імітатор. Ця модель є математичною, вона не імітує поведінку функцій бізнес-логіки.

Дуже поширена концепція створення навчально-лабораторних стендів для підготовки студентів технічних спеціальностей [6-8]. Використання подібних засобів навчання забезпечує виконання одного із фундаментальних принципів дидактики – принципу зв'язку теорії та практики [6].

Найбільш близькими до теми статті є роботи [9, 10], де пропонується узагальнена концепція віртуальних об'єктів автоматизації, до складу якої входять імітаційна модель об'єкта керування. Проте в наведених роботах не надається рекомендацій щодо побудови імітатора реального об'єкта. Не зрозуміло, для яких випадків потрібно створювати стенд-імітатор, будувати імітаційну модель для промисло-

вих об'єктів та коли створення стенда-імітатора є економічно обґрунтованим.

Метою статті є описання процесу створення апаратно-програмного комплексу на базі стенда-імітатора на прикладі промислового об'єкта автомата видачі напоїв.

Опис об'єкта управління

Автомат продажу напоїв є об'єктом автоматизації, до складу якого, залежно від кількості та типу напоїв, що продаються, може входити від 50 до 100 контрольованих параметрів. Типовий автомат може включати такі програмні та структурні підсистеми:

- підсистема зберігання та видачі води;
- підсистема підготовки та дозування, молока газованої та охолодженої води;
- підсистема підготовки та дозування молока;
- підсистема підготовки та видачі гарячої води;
- підсистема зберігання та дозування сиропів;
- підсистема руки для подачі напоїв;
- підсистема стаканного міксеру;
- дренажна підсистема;
- підсистема видачі стаканів;
- підсистема видачі трубок;
- підсистема прийому банкнот, монет та видачі решти;
- підсистема контролю доступу до автомата та сигналізації;
- підсистема GSM-зв'язку;
- підсистема термостатування автомата.

Далі наводиться опис деяких підсистем автомата видачі газованої води, які будуть моделюватися імітатором.

1) Підсистема зберігання та видачі води

Підсистема призначена для підготовки та подачі води, яка в подальшому використовується для нагрівання, охолодження, карбонізації та промивання автомата. Як джерела води використовуються:

- водопровід із фільтрацією води;
- одна ємність для зберігання води;
- кілька ємностей для зберігання води.

Якщо в автоматі передбачається використання декількох ємностей для води, вони можуть бути з'єднані за схемою судин, що сполучені, вода набирається з декількох ємностей одночасно, або за схемою з послідовним спорожненням, яка показана на рис. 1.

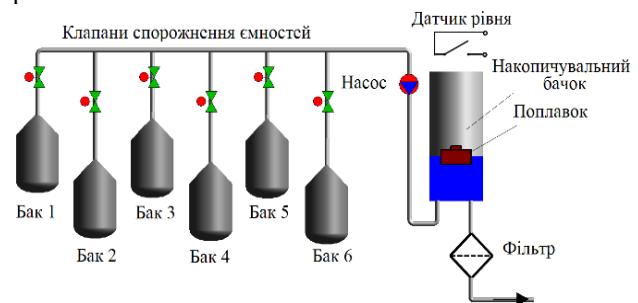


Рис. 1. Схема підготовки води з послідовним випорожненням ємностей

Рівень води у накопичувальному бачку контролюється за допомогою поплавкового датчика.

2) Підсистема підготовки та дозування газуваної та охолодженої води

Вода є основним інгредієнтом для приготування газованих напоїв та кисневих коктейлів. Схема підсистеми, призначеної для охолодження та газування питної води, показана на рис. 2.

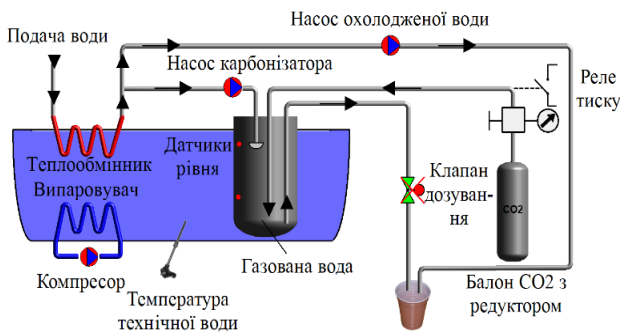


Рис. 2. Схема підсистеми охолодження та газування питної води

У цій підсистемі вода надходить спочатку до змішувача теплообмінника, що знаходиться в баку з технічною водою, де охолоджується до необхідної температури. Температура технічної води контролюється відповідним датчиком температури. При її підвищенні включається компресор холодильного агрегату, який дозволяє підтримувати процес охолодження води, що надходить для приготування напою. Приготування напоїв на основі негазованої охолодженої води забезпечує відповідний насос, що дозує (за часом) воду безпосередньо в стакан.

3) Підсистема підготовки та видачі гарячої води

До складу підсистеми входять насос та клапан дозування гарячої води, що працюють синхронно, та ємність з нагрівачем. Ступінь нагрівання води контролюється за показаннями датчика температури нагрівача. Вода в ємності гарячої води підтримується на мінімально допустимому рівні нагрівання, наприклад, 70 градусів за Цельсієм. Коли клієнт вибирає гарячий напій, вода нагрівається до 95 – 100 градусів Цельсія.

4) Підсистема зберігання та дозування сиропів

Ця підсистема комплектується залежно від необхідного асортименту напоїв, що продаються. Залежно від асортименту вибирається кількість сиропів. У такому варіанті, крім ємностей з сиропом, у підсистему входить також концентратор кисню з осушувачем і трубопроводом, який подає кисень безпосередньо в стакан під час приготування коктейлю. Конструктивно трубка подачі кисню змонтована на рухомій платформі і опускається в стакан разом із активатором стаканного міксеру.

Для даного варіанту загальна кількість інгредієнтів (6 + кисень) залишається незмінною, проте крім рідких добавок для кисневих коктейлів (сиropи 1–3), уведено ємності із сухими (порошкоподібними) добавками для молочних коктейлів (добавки 4–6). Подача сухих добавок для приготування напою відбувається за допомогою шнекових механізмів, що

дозують необхідну кількість порошку в порожнину перемішування міксеру сипучих продуктів. У цю порожнину подається необхідна кількість охолодженого молока, дозування якого здійснюється відповідним насосом (рис. 3).

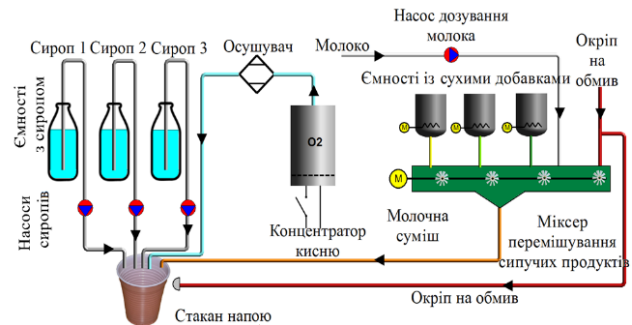


Рис. 3. Схема підсистеми видачі молочних напоїв

Після перемішування молочна суміш (з добавками) подається безпосередньо у стакан на позиції наливу. Остаточне приготування молочного коктейлю відбувається за допомогою стаканного міксеру у стакані. Після закінчення циклу приготування молочного коктейлю порожнина міксеру перемішування сипучих продуктів та активатор стаканного міксеру піддаються обмиву окропом, що надходить з підсистеми подачі гарячої води.

5) Підсистема руки подачі напоїв

Рука подачі напоїв використовується в деяких модифікаціях автоматів для поліпшення кінематичних характеристик механізмів подачі стаканів і стаканного міксеру. Схема підсистеми показана. Механізм «руки» складається з рухомого важеля, на якому закріплені вихідні сопла подачі води, сиропів та ін.

Контроль положення здійснюється за допомогою контактних датчиків крайніх положень.

6) Підсистема стаканного міксеру

Стаканний міксер входить до складу автоматів, які мають можливість приготування кисневих чи молочних коктейлів. Схема підсистеми показана на рис. 4.

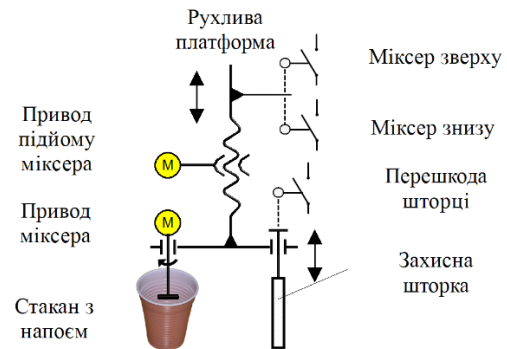


Рис. 4. Схема підсистеми стаканного міксеру

Стаканний міксер зі своїм приводом встановлений на рухомій платформі, яка дозволяє опускати міксер безпосередньо в порожнину стакана, що стоїть на позиції наливу (приготування напою). Підйом та опускання рухомої платформи здійснюється приводом підйому відповідно до сигналів, що надходять

від кінцевих вимикачів верхнього та нижнього положення.

На рухомій платформі разом з міксером встановлюється захисна прозора шторка, яка повністю закриває стакан, що стоїть на позиції приготування напою з лицьового боку автомата.

Ця шторка призначена для забезпечення безпеки клієнта в процесі приготування коктейлю (небезпечним є активатор міксера, що обертається з великою швидкістю).

У випадку, якщо при опусканні шторки (разом з рухомою платформою міксера) виникне перешкода закриттю (наприклад, сторонній предмет або рука клієнта будуть у зоні стакана), то спрацювання відповідного кінцевого вимикача і рух платформи вниз буде зупинено.

7) Дренажна підсистема

Така система встановлюється у випадку неможливості приєднання зливу автомата до каналізаційної мережі. Зливна ємність оснащена контактним датчиком рівня поплавка, за сигналом якого автомат повинен припинити роботу через небезпеку переливу.

8) Підсистема видачі стаканів

Підсистема видачі стаканів показана на рис. 5. Вона складається із двох частин. Перша – обертання туб зі стаканами. Туби стаканів встановлюються на підставці, що обертається.

При обертанні основи з тубами вони по черзі опиняються над отвором, який дозволяє стопці стаканів випасти в зону механізму стакановидачі. При цьому факт появи стакана у цій зоні фіксується оптичним датчиком стакана у тубі, і механізм обертання туб зупиняється.

Якщо при досить тривалому обертанні приводу туб стакан не з'являється в зоні механізму стакановидачі, це свідчить про те, що в жодній із туб немає стаканів, і автомат повинен припинити роботу через їх відсутність.

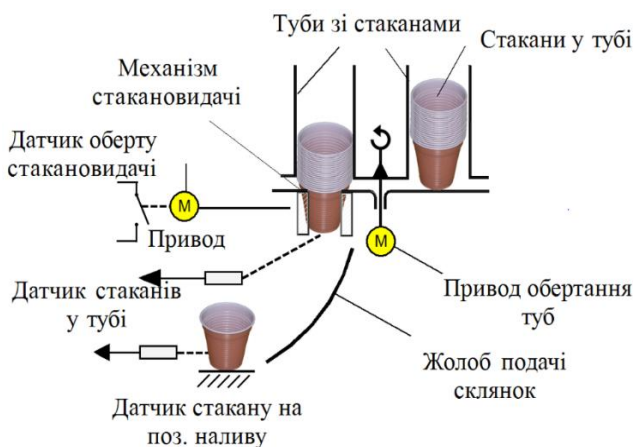


Рис. 5. Схема підсистеми видачі стаканів

Друга частина підсистеми видачі стаканів – видача стаканів клієнту. Якщо ж стакани надійшли в зону механізму стакановидачі, то перед приготуванням напою цей механізм включається і здійснює один оборот (до спрацювання кінцевого датчика обороту). При цьому нижній стакан в стопці гаран-

товано відокремлюється і під дією власної ваги потрапляє на позицію наливу (приготування напою). Наявність стакана на позиції наливу також може контролюватись відповідним оптичним датчиком.

Можливі варіанти автоматів, де відсутня частина обертання туб зі стаканами або де користувач перед замовленням напою самостійно ставить стакан на позицію наливу.

9) Підсистема видачі трубок

Для тих варіантів комплектації автоматів, які у своєму асортименті напоїв мають кисневі або молочні коктейлі, у їх конструкції передбачається підсистема видачі трубок («соломинок»). Трубки завантажуються в бункер. Механізм видачі трубок дозволяє гарантовано видавати одну трубку за один оборот механізму.

10) Підсистема контролю доступу до автомата та сигналізації

Для забезпечення захисту від несанкціонованого доступу автомат оснащений датчиком відкриття дверей та сигнальною сиреною.

Перед відкриттям дверей для запобігання спрацювання сигнальної сирени обслуговуючим персоналом за допомогою кнопок підсистеми інтерфейсу з користувачем повинна бути введена кодова послідовність (так званий «пароль»). Якщо пароль уведено неправильно, або після відкриття дверей пароль не було введено протягом заданого часу, спрацює сирена.

11) Підсистема GSM-зв'язку

Підсистема GSM-зв'язку забезпечує передачу по GSM/GPRS каналу на сервер інформації про поточний стан систем, статистику продажів, аварійних ситуацій. Також передбачається можливість надсилання SMS-повідомлень з короткими відомостями про стан автомата на особистий телефон власника або обслуговуючого персоналу.

12) Підсистема термостатування (вентиляції) автомата

Для зниження температури всередині автомата в його конструкції передбачаються вентилятори, які включаються при підвищенні внутрішньої температури вище заданого значення (рис. 18).

Температура повітря всередині автомата вимірюється датчиком температури повітря в автоматі та підтримується в діапазоні від 22 до 26 градусів за Цельсієм.

Створення імітаційної моделі об'єкта керування

Використовуючи опис об'єкта, складено перелік вхідних-вихідних сигналів (табл. 1). У таблиці: ППВГВ – підсистема підготовки та видачі гарячої води ПКДАС – підсистема контролю доступу до автомата та сигналізації, ПТВА – Підсистема термостатування (вентиляції) автомата, ДІ – дискретний вхід, ДО – дискретний вихід, АІ – аналоговий вхід, АО – аналоговий вихід.

Якщо контролер замикає дискретне реле обертання стакановидачі, то імітатор повинен з дискретного входу прийняти це значення і відобразити на екрані у SCADA-системі.

Таблиця 1. Перелік вхідних-вихідних сигналів автомата максимальної комплектації

№	Назва підсистеми	Назва точки	Тип сигналу	
			про-то-типу	імі-тато-ра
1	Підсистема зберігання та видачі води	Верхній рівень накопичувального бачка	DI	DO
		Насос підкачування накопичувального бачка	DO	DI
		Клапан відкриття ємності № 1	DO	DI
		Клапан відкриття ємності № 2	DO	DI
		Клапан відкриття ємності № 3	DO	DI
		Клапан відкриття ємності № 4	DO	DI
		Клапан відкриття ємності № 5	DO	DI
2	Підсистема підготовки та дозування газованої та охолодженої води (молока)	Тиск вуглекислоти	DI	DO
		Карбонізатор верхній рівень	DI	DO
		Карбонізатор нижній рівень	DI	DO
		Температура технічної води	AI	AO
		Насос карбонізатора	DO	DI
		Мішккалка молока	DO	DI
		Клапан дозування газованої води	DO	DI
		Компресор охолодження технічної води (холодильника)	DO	DI
		Насос дозування охолодженої води	DO	DI
		Витратомір подачі сирого молока	DI	DO
3	ППВГВ	Температура гарячої води	AI	AO
		Насос (і клапан) дозування гарячої води	DO	DI
		Нагрівач гарячої води	DO	DI
4	Підсистема зберігання та дозування сиропів та сухих добавок	Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 1	DO	DI
		Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 2	DO	DI
		Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 3	DO	DI
		Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 4	DO	DI
		Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 5	DO	DI
		Насос дозування сиропу (шнек до-бавки) № 6	DO	DI
		Насос подачі рідини для міксеру сипучих продуктів	DO	DI
		Міксер перемішування сипучих продуктів	DO	DI
5	Підсистема руки подачі напоїв	Концентратор кисню	DO	DI
		Рука верхнє положення	DI	DU
		Рука нижнє положення	DI	DU
		Руку підняти	DO	DI
		Руку опустити	DO	DI
6	Підсистема стаканного міксе-ра	Міксер верхнє положення	DI	DO
		Міксер нижнє положення	DI	DO
		Перешкода шторці при закритті	DI	DO
		Міксер підняти	DO	DI
		Міксер опустити	DO	DI
7	Дренажна підсистема	Рівень дренажного бака	DI	DO
8	Підсистема видачі стаканів	Обертання міксеру	DO	DI
		Обертання стакановидачі	DO	DI
		Обертання туб зі стопками стаканів	DO	DI
		Повернення стакановидачі	DO	DI
		Обертання механізму видачі трубок	DO	DI
9	Підсистема видачі трубок	Обертання механізму видачі трубок	DO	DI
		Обертання механізму видачі трубок	DO	DI
10	ПКДАС	Сервісна кнопка	DI	DO
		Датчик відкриття дверей	DI	DO
		Сигналізація (сирена)	DO	DI
11	ПТВА	Температура у відсіках автомата	AI	AO
		Вентилятор охолодження	DO	DI

Імітатор об'єкта управління формує сигнали для контролера таким чином, що імітація сигналів є протилежною сигналам, які виробляє контролер.

Розробка комплексу стенда-імітатора

За переліком вхідних-вихідних сигналів (табл. 1) зібрано стенд-імітатор для тестування роботи автомата газованої води. До складу стенду-імітатора входить:

- Блок живлення ОВЕН БП60Б-Д4-24.
- Блок гальванічної розв'язки БГР2-24/24.
- Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК110-220.60.К-Л. Контролер містить 36 дискретних входів та 24 дискретних виходів.
- Модуль введення МВ110-224.16ДН. Модуль містить 16 дискретних входів.
- Модуль аналогового виведення МУ110-224.6У. Модуль містить 6 аналогових виходів 0-10 В.
- Інше обладнання для роботи: автоматичний вимикач (механічний), клеми, роз'єми.

Зібраний стенд-імітатор представлений на рис. 6.



Рис. 6. Стенд-імітатор

До складу стенда-імітатора входить візуальне графічне відображення за допомогою SCADA-системи усіх підсистем роботи автомата (рис. 7), розроблене в середовищі MasterScada v3.5.

Головною керуючою ланкою в цьому стенді є ПЛК110-60. Модулі введення та виведення налаштовані на роботу за інтерфейсом RS-485. ПЛК110-60 та MasterScada обмінюються OPC-змінними через Codesys OPC Server.

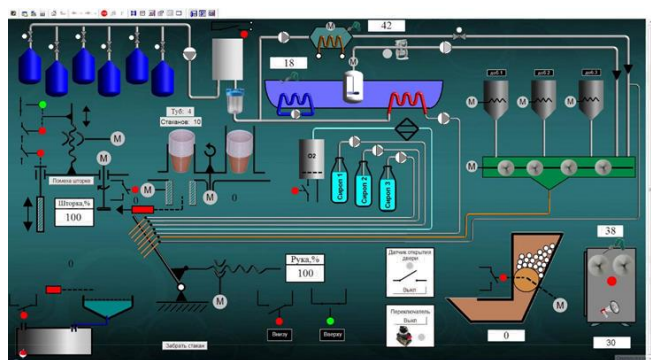


Рис. 7. SCADA-система автомата видачі напоїв

Цей стенд під керуванням стенда-прототипу, або реального об'єкта відображає стан виконавчих механізмів віртуального автомата продажу напоїв. Для роз-

робки програми для логічного контролера ПЛК110-60 використовується Codesys 2.3. У Codesys 2.3, відповідно до стандарту IEC 61131-3, для створення програми можна використовувати такі мови: ST, LD, FBD, SFC, CFC. Для створення програми-імітатора використовувалась мова структурованого тексту ST.

Висновки

У статті описано процес розробки апаратно-програмного комплексу імітатора об'єкта типового автомата видачі напоїв. Показано, що основою створення імітатора є повний опис об'єкта управління, що складається за результатами дослідження об'єкта. Опис об'єкта управління формується із переліку вхідних-вихідних сигналів та переліку виконуваних функцій. Для формування переліку сигналів для об'єкта імітатора пропонується змінити тип сигналів об'єкта управління на протилежний. Наступним кроком необхідно підібрати обладнання для створення стенду імітатора. Після цього можна переходити до розробки програмної частини імітатора об'єкта.

Пропонується створювати програмну частину з двох частин: програми для програмованого контролера та програми для SCADA-системи. У програмі для програмованого контролера необхідно описати логіку об'єкта-імітатора. Програму для SCADA-системи рекомендовано використовувати для відображення роботи виконавчих механізмів, положення датчиків, імітаційних значень температури.

У розробленій системі використовувалось 54 параметра. Якщо об'єкт керування має однакові підсистеми, то під час розробки можна використовувати інструменти тиражування змінних SCADA-системи. Після створення апаратно-програмного комплексу імітатора його необхідно підключити до керуючого контролера замість об'єкта керування. Потім провести тестування.

Використання розробленої програми імітатора об'єкта управління показало зниження часу тестування функціоналу на об'єкті, підвищило швидкість усунення багів у програмі, простоту тестування після додавання нового функціоналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- ГОСТ 34.601-90. Інформаційна технологія. Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Автоматизовані системи. Стадії створення. Вид. офіц. М. : Держ. ком. із упр. якістю продукції і стандартів, 1990. 8 с.
- Локтіонова Т. М., Петросян Р. В., Стражев Л. С. Навчальний лабораторний стенд на базі програмованого логічного контролера. *Інформаційно-комп'ютерні технології – 2016* : тези доп. VIII міжнар. наук.-техн. конф. Житомир, 2016.
- Бондаревський С. Л., Данилейко О. К. Комплексний стенд-імітатор для дослідження експлуатаційних характеристик сонячних панелей. *Електромеханічні системи, методи оптимізації та моделювання*. 2018. № 4. С. 69–77. DOI: 10.30929/2072-2052.2018.4.44.69-77.4.
- Когутяк М. І., Логінов А. Л., Торгунаков М. В. Тренажер-імітатор для налагодження систем керування та навчання фахівців з автоматизації. *Нафтогазова енергетика*. 2018. № 8. С. 61–67. DOI: 10.31471/1993-9868-2018-1(29)-61-67.
- Буряченко А. Г., Цалимов Г. Ф., Царев А. А. Стенд-імітатор стартер-генератора с функцией имитации работы 2 стартер-генераторов на ОБС. *Автоматическое управление и диагностика двигателей и энергоустановок*. 2018. № 1. С. 123–127.
- Волянський С. М. Концепція створення багатофункціональних комп'ютеризованих навчально-лабораторних комплексів для підготовки студентів технічних спеціальностей // Вісник НТУ «ХПІ». 2017. № 27. С. 26–29.
- Папінов В. М., Кулик Я. А. Багатофункціональна комп'ютеризована лабораторія для наскрізної практичної підготовки студентів спеціальності 151. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2019. № 2. С. 94–110.
- Большой В. А., Кушнір Н. О. Автоматизований навчальний лабораторний комплекс на базі функціональних модулів сучасного інформаційно-управляючого телемеханічного комплексу. Тези Всеукраїнської НПК. Житомир, 2015. Т. 1.
- Жеребко В. А. Концепція віртуалізації об'єктів автоматизації в навчально-наукових задачах проектування систем управління. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики*. 2015. № 2. С. 294–303.
- Жеребко В. А. Віртуалізація моделей технічних об'єктів управління в навчально-наукових задачах проектування систем управління. *Прикладні засоби програмування та програмне забезпечення*. 2015. № 1. С. 65–70.

Received (Надійшла) 25.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

Software and hardware complex of control object behavior simulation development

Oleh Yevseienko, Andrey Zuev, Natalia Yevsina

Abstract. The **subject** of the study is the process of the stand-simulator structure creation, simulation models of industrial automation objects behavior. The **purpose** of the article is a hardware-software complex of the sparkling water automat behavior simulation. **Tasks:** description of the algorithm for obtaining information about the control object building; analysis of the control object structure and functions to construct a simulation model of its behavior; synthesis of solutions of hardware and software complex. Applied **methods:** theory of algorithms, methods and models of object evaluation, theory of multifactor experiment, programming of programmable logic controllers. The **results:** the main problems that emerge with creating solutions for automation of industrial facilities are described; a list of input-output signals of the sparkling water automat was created; using this list the equipment to create a hardware and software complex was chosen; software package that consists of two modules: using a programmable logic controller, and SCADA-system were developed **Conclusions:** To create an object simulator using programmable logic controller, information of input-output signals is required. This information is based on the results of the control object behavior description. It is found that the list of signals of simulator is the opposite of the control object signals list. The usage of the developed program control object simulator gives benefits like decreasing of the object functionality testing time, increasing speed of eliminating bugs in the program, ease of testing after adding new functionality.

Keywords: control object, sparkling water automat, vending, hardware and software complex, simulator, SCADA system, programmable logic controller.

V. Zolotaryov¹, A. Kramchaninov¹, S. Piskun², K. Bakanov², H. Zaverukha², V. Chalapko²

¹ Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

² Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv, Ukraine

APPLICATION OF UNCONDITIONAL OPTIMIZATION METHODS IN THE DEVELOPMENT OF INTEGRATED BUSINESS - MODELS OF PRODUCTION AND CONSUMPTION OF INFOCOMMUNICATIONS

Abstract. The **subject matter** of the article is information processing in the production and consumption of infocommunication services in multiservice networks. The **goal** of the study is to investigate the process of information processing in multiservice networks and to identify the quality class management tasks of infocommunication services production and consumption could be connected by methods of the several variable functions unconditional optimization. The **tasks** to be solved are: to analyze the processes of production and use of infocommunication technologies, taking into account the possibility of their optimization according to the *QoS* procedure; to propose a formulation of the *QoS* procedure optimization problem in a form suitable for solving by unconstrained optimization methods; to investigate the unconditional optimization application possibility of the methods according to the *QoS* procedure in the production and consumption of infocommunication services. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used. The following **results** were obtained: On the basis of the analysis of production processes and use of information communication services in different segments of the service market the possibilities of infocommunication services optimizing for *QoS* procedures were identified. The problem of optimization in multiservice networks providing *QoS* to be formulated as a problem of unconditional optimization of the two variables function. The possibility of applied use of methods of crazy optimization of *QoS* procedure is shown on the application of integral business model of convergent production and implementation of information communication services. **Conclusions.** The production and use of infocommunication services today is convergent. The definition of a single variable for the coordination of processes in the entire chain of production and consumption of infocommunication services on a unified criterion will support *QoS* convergent production and implementation of infocommunication services. Really, the analytical method is practically not implemented in multiservice networks, as it is difficult to approximate the second derivative. If a simple approximation of the first derivative is possible, use gradient methods. The simplest to implement method is considered to be the method of fragmentation of the step. The definition of optimization paths by the *QoS* procedure will provide in the multi-service networks in the field of state regulation the necessary reliability, security and efficiency, in particular by optimizing the time of packets.

Keywords: Quality of Service, multiservice networks, numerical optimization methods, infocommunication services.

Formulation of the problem and research tasks

The different types of economic activities of infocommunication functioning varies in their organizational structures, business processes, development patterns and causes the need to implement different ways to improve the properties of the production and consumption of infocommunication services. (ICS). The emergence of new players in this services market segment, the allocation of the service sphere of infocommunication and increasing role dictate the need to develop new science-based approaches to create business models based on costs and results of all market participants.

With the replacement of traditional communication services by new multiservice and stiff competition on the part of mobile ICS, a contradiction arises between the increasing needs for information transfer and the diminishing capabilities of communication operators. The simultaneous provision of access to different services (standard telephony, IP telephony, WEB services, organization of virtual private networks) requires the development of methods for ensuring end-to-end guaranteed quality of communication services (Quality of Service, *QoS*) for the transmission of different types of traffic through the interacting networks of different operators. Given the abundance of *QoS* routing methods and *QoS* architectures, it becomes necessary to harmonize (harmonize) the latter.

In this regard, the development of business processes, methods, technological procedures and algo-

gorithms, optimal by one or more criteria for the compatibility of existing and prospective means of providing *QoS* of multiservice networks seems relevant.

Analysis of recent research and publications. indicate the relevance of the research. The eTOM (electronic Telecom Operation Map) architecture harmonizes the processes and functions in different systems of operational support for telecommunications operators through the same schemes [1].

This approach does not fully meet the goals of ensuring end-to-end *QoS*, since the presence of the same functions does not guarantee the compatibility of the mechanisms for implementing these functions, for example, at the compatibility level of the *QoS* feature lists.

The analysis in the source [2] allows us to conclude that there is currently no universal routing algorithm with *QoS*. Taking into account the technical and structural complexity of existing communication networks, the development of a universal algorithm is a difficult task to formalize.

The concept of quality metrics presented in [2] gives a certain formalization of traffic transmission quality assessment by several parameters (delay, delay jitter, cost of missing the load), but the mechanisms of its optimization are not fully disclosed.

The **goal** of the study is to investigate the process of information processing in multiservice networks and to identify the quality class management tasks of information and communication services production and consumption could be connected by methods of the sev-

eral variable functions unconditional optimization. This goal defined the following research **tasks**:

- to analyze the processes of production and use of infocommunication technologies, taking into account the possibility of their optimization according to the *QoS* procedure;
- to propose a formulation of the *QoS* procedure optimization problem in a form suitable for solving by unconstrained optimization methods;
- to investigate the unconditional optimization application possibility of the methods according to the *QoS* procedure in the production and consumption of infocommunication services.

General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used.

1. Analysis of IC processes and the possibility of their optimization by *QoS* procedure

The production and use of infocommunication services today is convergent. The modern user of ICS consumes both communication services and information service in the form of content and applications, manufacturers and providers of services can be completely different in terms of both types of communication and services offered. In this case, the business related to terminals, content and applications, as well as direct customer service (contract, payment, service), can be an independent link in the chain of production and consumption of ICS. Different manifestations of convergence suggest that the convergence of different communication networks is functional in order to provide the client with the full range of services in one place from different terminals and access points.

The implementation of such goals is possible within the framework of the integrated business model, as it would reduce those ICS processes and optimize them for the purpose of the *QoS* procedure. When transferring tribute from multiservice fenders, call the service provider to assess the following key parameters:

- Bandwidth – the transmittance, characterizes the width of the channel;
- Delay – level of delay in sending the package;
- Jitter – number of receptions when sending packets;
- Packet Loss – the number of packets, characterizing the number of packets appear in the lower transmission.

The quality of the number control of the parameters is surrounded by the possibilities of the hedgehog possession. *QoS* detection is a whole mechanism that allows information to be given a smog throughput, lowering the level of jitter and catching up, gaining important packets from being lost [3].

In the process of data processing and transmission in the nodes of multiservice networks, in the general case, a fairly large set of optimization problems is considered. This set of tasks is formed, as a rule, network, transport and session levels of the reference model of open systems interaction (OSI), for example, in routing, traffic management, data processing, etc.

Note that the solution of the optimization problem involves the presence of an analytical function and the

search for its minimum or maximum, ie the definition of a variable that would correspond to the quantitative value of the parameter of service quality. In the simplest case, this may be the time or number of packets or the time of a particular operation, such as the passage of a packet along a certain route.

This formalization will allow optimizing the quality of service in multiservice networks using a mathematical apparatus for studying functions within the differential calculus.

That is, the definition of a single variable for the coordination of processes in the entire chain of production and consumption of ICS on a unified criterion will support *QoS* convergent production and implementation of infocommunication services. This is very possible, as most ICSs are fairly deeply standardized and interchangeable. For example, communication or transmission channels of IP traffic are organized in different transmission systems and therefore can be interchangeable.

Thus, such a class of tasks can include the estimation of the time of a single packet passing through the return route in a multi-service network of an integrated model of the information communication business.

However, not all optimization tasks that arise in the process of information processing in MSS are reduced to finding extremes of single-valued functions.

In practice, the investigated system characteristics often depend on two or more parameters, i.e. the optimization problem is reduced to finding the extremum of a function with several variables.

A problem of this class in any case has considerable computational complexity and therefore the main emphasis when selecting methods of its solution is suitable to do exactly on the time of finding the solution, sometimes even at the expense of accuracy of the obtained result. Nevertheless, the mathematical apparatus of the analysis of functions, especially the crazy optimization of the function of several variables on the basis of differential calculus, can be used for solving problems of this class [4].

Thus, when considering real routing tasks, to analyze the packet transit time, one parameter is not enough, often several parameters of different sizes are analyzed, between which the valued coefficients are not set.

2. Ways to solve the optimization problem when providing *QoS* for multiservice networks

2.1. Analytical optimization problem solution.

Let us consider the simplest case: dependence of the packet transit time on two parameters x_1 and x_2 .

Analysis of the packet transit time in the multiservice network showed that it depends on two parameters (x_1 and x_2) which form a vector of parameters and can be reduced to the following analytical expression:

$$T = f(\bar{x}). \quad (1)$$

Therefore, the optimization task of providing *QoS* for multiservice networks can be formulated as follows: to find f^* , which provides an estimate of the minimum packet time

$$T = f(x_1, x_2) \rightarrow \min \tag{2}$$

and the corresponding parameter values

$$\bar{x}^* = (x_1^*, x_2^*). \tag{3}$$

If the optimized function can be given in analytical form, and there are its second derivatives on all arguments, the optimal solution can be found using standard methods of mathematical analysis of the function of several variables.

2.2 Algorithm for solving the problem for two variables in a general form. If two differentiated by all arguments, then f^* can be found using the following algorithm:

A. We find stationary points of the function by equating its gradient to zero,

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right) = 0, \tag{4}$$

which is a necessary condition for the existence of a local extremum.

B. To determine the type of stationary point (a sufficient condition for the existence of a local extremum) it is necessary to construct its Hess (matrix of all partial derivatives of the function):

$$G(\bar{x}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_2} \end{pmatrix}. \tag{5}$$

C. To calculate the eigenvalues of Hessian as follows

$$\det(G(\bar{x}) - \bar{\lambda}I) = 0 \quad (\bar{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2)). \tag{6}$$

If all Hessian eigenvalues are positive ($\lambda > 0$), then the stationary point is the local minimum of the studied function.

If all Hessian eigenvalues are negative ($\lambda < 0$), then the stationary point is the local maximum of the studied function. If the eigenvalues of the Hessian have differ-

ent signs (or there are zero values), then the stationary point is the saddle point (for two variables, it is the saddle point of the surface that characterizes the studied function).

2.3. Gradient method with step crushing. Really, the analytical method is practically not implemented in multiservice networks, as it is difficult to approximate the second derivative.

However, if a simple approximation of the first derivative is possible, use gradient methods (more accurate than scanning, but also more expensive), for example:

- step splitting method;
- method of the fastest descent;
- Newton's method, etc.

According to the authors, the simplest to implement method is considered to be the method of fragmentation of the step [4].

3. Investigation of the unconditional optimization application possibility of the methods according to the QoS procedure in the production and consumption of infocommunication services

If necessary, at the junctions between communication networks that support different QoS algorithms, the tasks of generating and planning traffic flow can be solved, which partially allows to adapt the existing routing algorithm c QoS to the routing algorithms of the corresponding party. These include, for example, methods of reducing the effects of congestion, aggregation of homogeneous traffic flows on the best routes, re-routing of traffic in case of failure of communication equipment, and so on (Fig. 1).

Exceptions are services that are in the field of state regulation. Note that the expansion of the proposed optimization methods in the production and consumption of infocommunication services can be effective, as the integrated model of convergent production and implementation of ICS is inherent in the field of state regulation with precision to tariff policy [6].

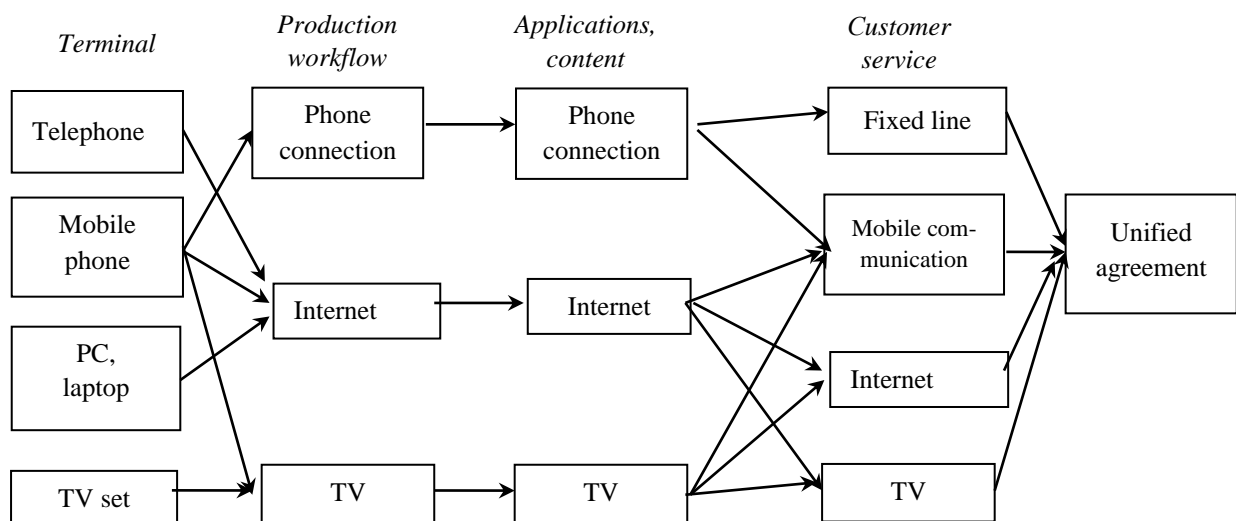


Fig. 1. Integrated model of convergent production and implementation of infocommunication services

Moreover, the definition of optimization paths by the *QoS* procedure will provide in the multi-service networks in the field of state regulation the necessary reliability, security and efficiency, in particular by optimizing the time of packets [7-9].

Conclusions

1. The production and use of infocommunication services today is convergent. The definition of a single variable for the coordination of processes in the entire chain of production and consumption of ICS on a unified criterion will support *QoS* convergent production and implementation of infocommunication services.

2. Really, the analytical method is practically not implemented in multiservice networks, as it is difficult to approximate the second derivative. If a simple approximation of the first derivative is possible, use gradient methods.

The simplest to implement method is considered to be the method of fragmentation of the step.

3. The definition of optimization paths by the *QoS* procedure will provide in the multi-service networks in the field of state regulation the necessary reliability, security and efficiency, in particular by optimizing the time of packets.

REFERENCES

1. TMN and network maintenance: international transmission systems, telephone circuits, telegraphy, facsimile and leased circuits: M.3050.3, (2005), International Telecommunication Union, Geneva, CH.
2. Pragyansmita, Paul and S. V. Raghavan, S. V. (2002) [On-line], Survey of QoS routing, Proceedings of the international conference on computer communication. Vol. 15, no. 1. – Paghavan Survey of QoS Routing. – URL: <http://citeseer.ist.psu.edu/544755>.
3. Muller, Peter Tang, Seok-Yee and Sharif, Hamid (2010), [On-line], WiMAX Security and Quality of Service. An End-to-End Perspective, John Wiley & Sons Ltd, New York, NY. – URL: <https://books.academic.ru/book.nsf/88050878/WiMAX+Security+and+Quality+of+Service.+An+End-to-End+Perspective>.
4. Kraskevich, V. Ye., Zelenskiy, K. KH. and Grechko, V. I. (1986), Chislennyye metody v inzhenernykh issledovaniyakh [Numerical Methods in Engineering Research], Vyshcha shkola, Kyiv, SU.
5. Himmelblau, David M. (1975), Prikladnoye Nelineynoye programmirovaniye [Applied nonlinear programming], Translated by Bykhovskiy, M. L. (ed.),] Mir, Moscow, SU.
6. Kuzovkova, T. A. (2014), [On-line], “Transformation of the model for production and consumption of infocommunication services”, T-Comm, no. 7, vol. 8, pp. 54-56.
7. Kuchuk, G. (2004), “Network traffic control method of a distributed control system”, Aviatsonno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya, no. 7, pp. 206–209.
8. 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>.
9. Pol'shchikov, K.A. (2012), “Method of neuro-fuzzy control of the intensity of sending data by source nodes in a special-purpose mobile radio network”, Nauka i tekhnika povitryanykh syl Zbroynykh Syl Ukrayiny, Kharkiv: KHUPS, no 3(9), pp. 118 – 122.

Received (Надійшла) 04.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.04.2022

Застосування методів безумовної оптимізації при розробці інтегральної бізнес - моделі виробництва і споживання інфокомунікаційних послуг

В. А. Золотарьов, А. Ю. Крамчанинов, С. В. Піскун, К. Л. Баканов, Г. В. Заверуха, В. В. Чалапко

Анотація. Предметом вивчення в статті є процес обробки інформації при виробництві і споживанні інфокомунікаційних послуг в мультисервісних мережах. **Метою статті** є дослідження процесу обробки інформації в мультисервісних мережах та виділення класу задач управління якістю виробництва і споживання інфокомунікаційних послуг, які могли б бути розв'язані методами безумовної оптимізації функції декількох змінних. **Завдання дослідження:** проаналізувати процеси виробництва та споживання інфокомунікаційних послуг з огляду на можливість їх оптимізації за процедурою *QoS*; запропонувати формулювання задачі оптимізації за процедурою *QoS* у вигляді, придатному для розв'язання методами безумовної оптимізації; проаналізувати можливість прикладного застосування методів безумовної оптимізації за процедурою *QoS* при виробництві і споживанні інфокомунікаційних послуг. **Методологічною основою** дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання. **Отримані наступні результати:** На основі аналізу процесів виробництва і використання інфокомунікаційних послуг у різних сегментах ринку послуг визначені та можливість оптимізації інфокомунікаційних послуг за процедурою *QoS*. Задача оптимізації при забезпеченні *QoS* мультисервісних мереж бути сформульована як задача безумовної оптимізації функції двох змінних. Можливість прикладного застосування методів безумовної оптимізації за процедурою *QoS* показана на прикладі інтегральної бізнес-моделі конвергентного виробництва і реалізації інфокомунікаційних послуг. **Висновки.** Виробництво і споживання інфокомунікаційних послуг сьогодні носить конвергентний характер. Визначення єдиної змінної для узгодження процесів в усьому ланцюзі виробництва і споживання інфокомунікаційних послуг за єдиним критерієм дозволить здійснювати підтримку *QoS* конвергентного виробництва і споживання інфокомунікаційних послуг. Визначення шляхів оптимізації за процедурою *QoS* надасть змогу забезпечити в мультисервісних мережах сфері державного регулювання необхідну надійність, захищеність та оперативність, зокрема шляхом оптимізації часу проходження пакетів. Оскільки застосування аналітичного методу передбачає апроксимацію другої похідної, що, своєю чергою, викликає ряд практичних труднощів, у мультисервісних мережах його застосування є ефективним.

Ключові слова: якість обслуговування, *QoS*, мультисервісні мережі, числені методи оптимізації, інфокомунікаційні послуги.

Є. І. Калінін¹, В. М. Ткачов², Д. О. Лисиця¹, А. О. Рибальченко¹

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ОПТИМАЛЬНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СТОХАСТИЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КІНЦЕВИМ ПОЛОЖЕННЯМ

Анотація. Предметом досліджень статті є лінійні стохастичні динамічні системи управління кінцевим положенням. Метою роботи є синтез ефективних чисельних алгоритмів машинно-го проектування лінійних стохастичних динамічних систем управління кінцевим положенням. Завдання дослідження полягають у побудові алгоритмів синтезу, заснованих на застосуванні методу інверсійно-сполучених систем, а також на зниженні розмірності простору параметрів, що оптимізуються. Застосовувані методи: інверсійно-сполучені системи для формування критерію якості, методи зниження розмірності простору параметрів, що оптимізуються на підставі спектрального аналізу матриці кривизни. Отримані результати: пошук оптимальних параметрів у запропонованому підпросторі може здійснюватися всіма методами першого або другого порядку з використанням спроектованих матриць. При досягненні в підпросторі точки мінімуму критерію у ній обчислюються градієнт та кривизна і на підставі спектрального аналізу будується новий підпростір запропонованого типу з наступним повтором процесу оптимізації. Запропонована стратегія пошуку скорочує кількість кроків оптимізації. Практична значущість роботи полягає у тому, що з використанням матриць сполучених змінних отримані ефективні способи обчислення градієнта та кривизни критерію оптимізації. Оскільки час обчислення градієнта за запропонованими залежностями в основному визначається часом інтегрування рівнянь для сполучених матриць, то воно приблизно дорівнює часу інтегрування рівнянь для визначення фундаментальної матриці та дисперсії.

Ключові слова: чисельний алгоритм; машинне проектування; лінійна стохастична динамічна система; простір параметрів, оптимізація.

Вступ

Сучасна інтенсифікація виробничих процесів у всіх галузях призвела до синтезу різноманітних систем управління, які функціонують на технологічному рівні управління виробництвом та систем управління різними об'єктами.

Одним з основних компонентів названих систем управління є програми, в яких реалізується алгоритм управління, тобто. визначаються реакції системи на зовнішні впливи з урахуванням змінних внутрішніх станів самої системи, що у результаті можна назвати поведінкою системи управління.

Автори робіт [6 – 10] зазначають, що в проектуванні систем управління, які вирішують однотипні завдання, доцільно використовувати еквівалентні методи, тобто застосовувати компонентний підхід у проектуванні, при якому повторно використовуються вже створені та апробовані практикою компоненти системи керування.

Сам процес автоматизації виробництва сьогодні характеризується появою великої кількості інтелектуальних механізмів автоматизації. Це зумовлено тим, що посилюються вимоги до об'єму, швидкості та надійності передачі даних, тому питання забезпечення комунікацій виходять на перший план [4]. При цьому слід враховувати, що побудова автоматизованих систем управління має обов'язково враховувати необхідність здешевлення та спрощення технологічних процесів [1 – 14].

Окрім того, у техніці регулювання особливе місце займають системи управління кінцевим положенням. Зазвичай такі системи можуть бути описані лінійними диференціальними рівняннями, коефіцієнти яких залежать від часу t та моменту t_f закінчення процесу. Прикладом таких систем можуть бути системи, які наведені у роботі [4].

Їх відмінною особливістю є наявність коефіцієнтів виду $a(t_f - t)$. При $t \rightarrow t_f$ система прямує до деякого кінцевого стану, який визначає результат управління.

Мета роботи – синтез ефективних чисельних алгоритмів машинного проектування лінійних стохастичних динамічних систем управління кінцевим положенням.

Завдання дослідження полягають у побудові алгоритмів синтезу, заснованих на застосуванні методу інверсійно-сполучених систем, а також на зниженні розмірності простору параметрів, що оптимізуються.

Формування задачі з мінімізацією критерію якості

Нехай система управління кінцевим положенням описується лінійними рівняннями:

$$\dot{x} = A(t_f - t)x + B(t_f - t)w, \quad (1)$$

де $A(t_f - t)$, $B(t_f - t)$ – матриці системи з коефіцієнтами, що залежать від t_f і t , а також від r параметрів h_i , $i = \overline{1, r}$;

w – центрований білий шум інтенсивності $V(t_f - t)$; $x(t_0) = x_0$ – випадковий вектор із середнім значенням m_0 та матрицею дисперсій C_0 .

Завдання полягає в такому виборі параметрів, щоб надати мінімум критерію якості:

$$J = \int_{t_0}^{t_f \max} M \left\{ x^T(t_f) C_f(t_f) x(t_f) \right\} dt_f = \int_{t_0}^{t_f \max} tr C_f(t_f) R(t_f) dt_f. \quad (2)$$

Тут $R(t)$ – симетрична $n \times n$ матриця других початкових моментів, що задовольняє рівнянню виду:

$$\begin{aligned} R(t) &= A(t_f - t)R(t) + (A(t_f - t)R(t))^T + \\ &+ B(t_f - t)V(t_f - t)B^T(t_f - t); \quad (3) \\ R(t_0) &= C_0 + m_0 m_0^T, \end{aligned}$$

де $C_f(t_f)$ – вагова матриця;

M – знак математичного сподівання;

tr – знак сліду матриці;

T – знак транспонування;

n – порядок системи.

Застосування методу інверсійно-сполучених систем для формування критерію якості

Оцінка інтегралу при обчисленні критерію виразу (2) вимагає багаторазового прорахунку матричного рівняння (3) для різних t_f . Хоча, з урахуванням симетрії матриці $R(t)$ порядок рівняння (3) дорівнює $n(n+1)/2$, безпосередній підрахунок критерію з прийнятною точністю потребує надмірно великої кількості обчислень.

Нижче описано підхід, що дозволяє вирішити задачу за прийнятний машинний час.

Матриця дисперсій за нульових початкових умов визначається інтегралом виду:

$$\begin{aligned} C(t_f) &= \\ &= \int_{t_0}^{t_f} \Phi(t_f, t) B(t_f - t) V(t_f - t) B^T(t_f - t) \Phi^T(t_f, t) dt, \quad (4) \end{aligned}$$

де $\Phi(t_f, t)$ – фундаментальна матриця системи (2), яка задовольняє рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi(t_f, t)}{dt} \Phi(t_f, t) A(t_f - t), \Phi(t_f, t) &= 1, \\ t &\in [t_0, t_f]. \end{aligned}$$

Введемо інверсійно-сполучену систему, тобто позначимо $\tau = t_f - t$ – час до кінця процесу управління; тоді:

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi(t_f, t_f - \tau)}{d\tau} &= \Phi(t_f, t_f - \tau) A(\tau); \\ \Phi(t_f, t_f - 0) &= 1; \\ \tau &\in [0, t_f - t_0]. \end{aligned}$$

Або, позначивши $\Phi(t_f, t_f - \tau) = \psi(\tau)$, отримаємо таке:

$$\frac{d\psi(\tau)}{d\tau} = \psi(\tau) A(\tau), \quad \psi(0) = 1, \quad \tau \in [0, t_f - t_0]. \quad (5)$$

Таким чином, фундаментальна матриця системи (1), якщо її перший аргумент дорівнює t_f , не залежить від t_f і залежить тільки від часу τ до кінця процесу. Матриця дисперсій визначається інтегралом:

$$C(t_f) = C(t_f - t_0) =$$

$$= \int_0^{t_f - t_0} \psi(\tau) B(\tau) V(\tau) B^T(\tau) \psi^T(\tau) d\tau,$$

або може бути отримана як розв'язок диференціального рівняння виду:

$$\begin{aligned} \frac{dC(t_f - t_0)}{d(t_f - t_0)} &= \\ -\psi(t_f - t_0) B(t_f - t_0) V(t_f - t_0) B^T(t_f - t_0) \psi^T(t_f - t_0). \end{aligned}$$

Введемо позначення $t_f - t_0 = \tau$, тоді:

$$\begin{aligned} \frac{dC(\tau)}{d\tau} &= \psi(\tau) B(\tau) V(\tau) B^T(\tau) \psi^T(\tau); \\ C(t_0 - t_0) &= 0, \quad (6) \\ \tau &\in [0, t_{f \max} - t_0]. \end{aligned}$$

Розглянемо обчислення вектору математичного сподівання $m(t)$ для кінцевого моменту t_f . Оскільки математичне сподівання описується однорідним рівнянням виду (1), то виконуючи заміну змінних, отримаємо:

$$\begin{aligned} m(t_f) &= \Phi(t_f, t_0) m(t_0) = \\ &= \Phi(t_f, t_f - (t_f - t_0)) m(t_0) = \\ &= \psi(t_f - t_0) m(t_0) = \psi(\tau) m(t_0), \\ \tau &\in [0, t_{f \max} - t_0]. \end{aligned}$$

Отже, підрахунок математичного сподівання в кінцевий момент часу можна виконувати одночасно з інтегруванням системи (5) та (6) з інтегральним критерієм:

$$\begin{cases} \frac{d\psi(\tau)}{d\tau} = \\ \quad = \psi(\tau) A(\tau); \psi(0) = 1; \\ \frac{dC(\tau)}{d\tau} = \\ \quad = \psi(\tau) B(\tau) V(\tau) B^T(\tau) \psi^T(\tau); C(0) = 0; \\ J = \\ \quad = \int_0^{t_{f \max} - t_0} tr C_f(\tau) [\psi(\tau) m_0 m_0^T \psi^T(\tau) + C(\tau)] d\tau. \end{cases} \quad (7)$$

Представлення виробничого критерію з використанням сполучених змінних

Ефективні методи параметричної оптимізації, що належать до групи методів другого порядку, вимагають для свого застосування градієнт та матрицю кривизни критерію:

$$\begin{aligned} g &= (\partial J / \partial h_1, \dots, \partial J / \partial h_r)^T = (J_1, \dots, J_r)^T; \\ G &= \{\partial^2 J / \partial h_i \partial h_k\} = \{J_{ik}\}; \\ i, k &= \overline{1, r}. \end{aligned}$$

Отримаємо рівняння для похідних, диференціюючи критерій J в (7) за параметрами:

$$\begin{cases} \dot{C}_i = \\ = \psi_i BVB^T \psi^T + \psi(BVB^T)_i \psi^T + \psi BVB^T \psi_i^T; \\ J_i = \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr} C_f(\tau) \left[\begin{array}{c} \psi_i m_0 m_0^T \psi^T + \\ + \psi m_0 m_0^T \psi_i^T + C_i \end{array} \right] dx; \\ \dot{\psi}_i = \\ = \psi_i A + \psi A_i. \end{cases} \quad (8)$$

Для уникнення r -кратного інтегрування рівнянь для ψ_i , C_i введемо сполучені матриці F і H та розглянемо тотожності:

$$\begin{cases} -\text{tr} \psi_i F \Big|_0^{t_f \max - t_0} + \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr}(\dot{\psi}_i F + \psi_i \dot{F}) d\tau = 0; \\ -\text{tr} C_i H \Big|_0^{t_f \max - t_0} + \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr}(\dot{C}_i H + C_i \dot{H}) d\tau = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Додаючи їх до виразу J_i в (8) та враховуючи що

$$\psi_i(0) = 0 \text{ і } C_i(0) = 0,$$

отримаємо похідну J_i яка вже не містить ψ_i та C_i :

$$\begin{cases} J_0 = \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr}[\psi A_i F + \psi(BVB^T)_i \psi^T H] d\tau; \\ \dot{F} = -AF - \left[\begin{array}{c} (C_f + C_f^T) m_0 m_0^T + \\ + (H + H^T) BVB^T \end{array} \right] \psi^T; \\ \dot{H} = -C_f; \dot{\psi} = \psi A; \\ F(t_f \max - t_0); \\ H(t_f \max - t_0) = 0; \\ \psi(0) = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Як видно з отриманих рівнянь, матриці сполучених змінних задовольняють неоднорідним рівнянням, що розв'язуються у зворотному часі з нульовими початковими умовами. При виконанні обчислень елементи матриці ψ необхідно зберігати, оскільки рівняння для ψ має розв'язуватися у прямому часі.

Отримаємо вирази для похідних критерію J_{ik} , диференціюючи співвідношення (8):

$$\begin{aligned} J_{ik} &= \int_0^{t_f \max} \text{tr} \left(\begin{array}{c} C_f \psi_{ik} m_0 m_0^T \psi^T + C_f \psi_i m_0 m_0^T \psi_k^T + \\ + C_f \psi_k m_0 m_0^T \psi_i^T + C_f \psi m_0 m_0^T \psi_{ik}^T + \\ + C_f C_{ik} \end{array} \right) d\tau; \\ \dot{\psi}_{ik} &= \psi_{ik} A + \psi_i A_k + \psi_k A_i + \psi A_{ik}; \\ \dot{C}_{ik} &= \psi_{ik} BVB^T \psi^T + \psi_i (BVB^T)_k \psi^T + \psi_i BVB^T \psi_k^T + \\ &+ \psi_k (BVB^T)_i \psi^T + \psi (BVB^T)_{ik} \psi^T + \\ &+ \psi (BVB^T)_i \psi_k^T + \psi_k BVB^T \psi_i^T + \\ &+ \psi (BVB^T)_k \psi_i^T + \psi BVB^T \psi_{ik}^T. \end{aligned}$$

Для уникнення інтегрування рівнянь для ψ_{ik} і C_{ik} знову введемо сполучені матриці F і H та розглянемо тотожності:

$$\begin{aligned} -\text{tr} \psi_{ik} F \Big|_0^{t_f \max - t_0} + \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr}(\dot{\psi}_{ik} F + \psi_{ik} \dot{F}) d\tau &= 0; \\ -\text{tr} C_{ik} H \Big|_0^{t_f \max - t_0} + \int_0^{t_f \max - t_0} \text{tr}(\dot{C}_{ik} H + C_{ik} \dot{H}) d\tau &= 0. \end{aligned}$$

Додаючи ці тотожності до виразу J_{ik} та враховуючи, що

$$\psi_{ik}(0) = C_{ik}(0) = 0,$$

можна отримати похідну J_{ik} , котра не містить змінних ψ_{ik} і C_{ik} :

$$J_{ik} = \int_0^{t_f \max} \text{tr} \left[\begin{array}{c} C_f \psi_i m_0 m_0^T \psi_k^T + (\psi_i m_0 m_0^T \psi_k^T)^T + \\ + (\psi_i A_k + \psi_k A_i + \psi A_{ik}) F + \\ + (P + P^T) H \end{array} \right] d\tau, \quad (11)$$

$$\begin{aligned} P &= \psi_i (BVB^T)_k \psi^T + \psi_i BVB^T \psi_k^T + \\ &+ \psi_k (BVB^T)_i \psi^T, \end{aligned}$$

де

а сполучені матриці F і H задовольняють рівнянням, аналогічним (10).

Таким чином, з використанням матриць сполучених змінних отримані ефективні способи обчислення градієнта та кривизни критерію (10), (11). Оскільки час обчислення градієнта за виразами (10) в основному визначається часом інтегрування рівнянь для F і H , то воно приблизно дорівнює часу інтегрування рівнянь для визначення фундаментальної матриці ψ та дисперсії C .

Для обчислення матриці кривизни необхідно інтегрувати r пар рівнянь для ψ_i і C_i , а рівняння для сполучених змінних зберігаються.

Зниження розмірності простору параметрів, що оптимізуються на підставі спектрального аналізу матриці кривизни

Серйозною перешкодою на шляху застосування відомих методів пошуку мінімуму є яружний характер поверхонь рівня критерію у просторі оптимізованих параметрів.

Пошукові алгоритми змушені робити більшу кількість кроків для досягнення мінімуму, що призводить до втрати ефективності пошуку [7].

Для подолання цієї перешкоди у черговій k -точці простору параметрів формується підпростір меншої розмірності, що відповідає нижній точці поверхонь рівня.

Цей підпростір визначається перетином гіперплощин, які перпендикулярні власним векторам η_i матриці кривизни G_k , що відповідають домінуючим власним числам λ_i , $i = \overline{1, l}$, $l < r$:

$$Dx = E, \quad (12)$$

де $D-l \times r$ – матриця, елементи i -го рядка якої є компонентами добутку $\eta_i^T G_k$; E – l -вектор з компонентами виду $-n_i^T g_k$.

Підпростір (12) розташовується у напрямі найбільшої витягнутості поверхонь рівня критерію, і пошук мінімуму доцільно проводити саме у цьому підпросторі.

Вектор-градієнт g_k та матрицю кривизни G_k в черговій точці необхідно спроекувати на підпростір (12):

$$\begin{aligned} g_z &= Z^T g_k; \\ G_z &= Z^T G_k, \end{aligned} \quad (13)$$

де Z – матриця, що складається з векторів базису підпростору (12).

В якості цієї матриці можна взяти $r-l$ останніх стовпців матриці Q в LQ -факторизації матриці D : $DQ = (L0)$,

де L – нижня трикутна $l \times l$ -матриця. Вихідна точка x^* початку оптимізації в підпросторі (12) може бути представлена проекцією точки x_k :

$$\begin{aligned} x^* &= Yx_y^*; \\ Lx_y^* &= E, \end{aligned}$$

де Y – матриця, котра складена з l перших стовпців матриці Q .

Діагоналізація та виділення власних векторів матриці G_k можуть бути виконані з застосуванням стандартних процедур типу алгоритму власних значень Якобі, а LQ -факторизація – застосуванням перетворення Хаусхолдера.

Висновки

Пошук у підпросторі (12) може здійснюватися всіма методами першого або другого порядку з використанням спроекуваних матриць (13).

При досягненні в підпросторі (12) точки мінімуму критерію J у ній знову обчислюються градієнт та кривизна і на підставі спектрального аналізу будується новий підпростір типу (12); процес оптимізації повторюється.

Запропонована стратегія пошуку скорочує кількість кроків оптимізації. Такий підхід до формування критерію та обчислення його похідних особливо ефективний у разі, коли матриця $C_f(t_f)$ сильно розрізана, тобто критерій залежить від однієї або кількох координат вектору стану системи (1).

Наприклад, якщо

$$C_f(t_f) = \text{diag}\{a_1(t_f), 0, \dots, 0\},$$

рівняння (7) потрібно розв'язувати лише для першого рядка матриці ψ , а система рівнянь для дисперсії має перший порядок. Тому загальний порядок системи (7) дорівнює $n+1$. Якщо критерій залежить від двох компонентів x , то загальний порядок вже дорівнює $2n+3$ і так далі. Якщо критерій залежить від малої кількості компонентів, можливе застосування даного підходу і при нульових початкових умовах для матриці дисперсій.

У показниках якості системи часто потрібно враховувати інтеграл від траєкторії математичних сподівань процесу за часом від t_0 до t_f . У рамках запропонованого підходу цю вимогу можна задовольнити лише за лінійної залежності підінтегрального виразу від математичних сподівань: $C_i^T m(t)$ (C_i -ваговий вектор).

Додаючи до системи (1) рівняння $\dot{y} = C_i^T x$, змінюючи відповідним чином матриці A і C_f , ціною деякого підвищення порядку можна враховувати інтегральні обмеження на траєкторії.

У аналізованому підході є можливість компенсації впливу будь-якого параметра α , що приймає від реалізації до реалізації різні значення з певного інтервалу $[\alpha_1, \alpha_2]$. Для цього необхідно мінімізувати за параметрами інтегральний критерій

$$J_\alpha = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} J(\alpha) d\alpha,$$

де J_α – критерій виду (2).

Градiєнт та матриця кривизни цього критерію за параметрами h_i , $i = \overline{1, r}$ обчислюються як інтеграл від градієнта та кривизни

$$\begin{aligned} J_{\alpha i} &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} J_i(\alpha) d\alpha; \\ J_{\alpha ik} &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} J_{ik}(\alpha) d\alpha. \end{aligned}$$

Для оцінки інтегралів у цих виразах потрібен прорахунок критерію, градієнта та кривизни у кількох точках інтервалу $[\alpha_1, \alpha_2]$.

Перспективи дослідження можуть бути пов'язані із подальшим аналізом поведінки системи з урахуванням окремих методів оптимізації.

REFERENCES

1. Dorf R.C. and Bishop R.H. (2011) *Modern control system*, 12th Edition, Prentice Hall
2. Denisova L.A. and Meshcheryakov V.A. (2015) "Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm", *Automation and Remote Control*, 76(1), pp. 149-156, DOI: <https://doi.org/10.1134/S0005117915010142>
3. Denisova L.A. and Meshcheryakov V.A. (2016) "Synthesis of a control system using the genetic algorithms", *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp. 156-161, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.567>
4. Makarov I.M. and Lohin V.M. (2001) *Intelligent automatic control systems*. Fizmatlit
5. Xue D. and Chen Y.Q. (2013) *System simulation techniques with MATLAB and Simulink*, Chichester: UK, John Wiley & Sons.

6. Purohit G.N., Sherry A.M. and Saraswat M. (2013) "Optimization of function by using a new MATLAB based genetic algorithm procedure", *International Journal of Computer Applications*, 61(15), pp. 1-5.
7. Deb K. (2001) *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, Chichester: UK, John Wiley & Sons.
8. Goldberg D.E. (1994) *Genetic Learning in optimization, search and machine learning*. Addison Wesley.
9. Deb K., Pratap A., Agarwal S. and Meyarivan T. (2002) "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II", *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), pp. 182-197, DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
10. Jadaan O., Rao C.R., Rajamani L. (2008) "Non-dominated ranked genetic algorithm for solving multi-objective optimization problem: NRG", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, pp. 60-67
11. Van Veldhuizen D.A. & Lamont G.B. (2000). "Multiobjective optimization with messy genetic algorithms", *In Proceedings of the 2000 Symposium on Applied Computing*, pp. 470-476, DOI: <https://doi.org/10.1145/335603.335914>
12. Sirinaovakul B. & Thajchayapong, P. (1994). "A knowledge base to assist a heuristic search approach to facility layout", *International Journal of Production Research*, 32, pp. 141-160, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207549408956921>
13. Ye M. & Zhou G. (2007). "A local genetic approach to multiobjective, facility layout problems with fixed aisles". *International Journal of Production Research*, 45, pp. 5243-5264, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540600818179>
14. Scholz D., Jaehn F., & Junker A. (2010). "Extensions to STaTS for practical applications of the facility layout problem", *European Journal of Operational Research*, 204, pp. 463-472, DOI: <http://doi.org/10.1016%2Fj.ejor.2009.11.012>

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dorf R.C. and Bishop R.H. (2011) *Modern control system*, 12th Edition, Prentice Hall
2. Denisova L.A. and Meshcheryakov V.A. (2015) "Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm", *Automation and Remote Control*, 76(1), pp. 149-156, DOI: <https://doi.org/10.1134/S0005117915010142>
3. Denisova L.A. and Meshcheryakov V.A. (2016) "Synthesis of a control system using the genetic algorithms", *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp. 156-161, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.567>
4. Макаров И.М., Лохин В.М. (2001) *Интеллектуальные системы автоматического управления*. Физматлит
5. Xue D. and Chen Y.Q. (2013) *System simulation techniques with MATLAB and Simulink*, Chichester: UK, John Wiley & Sons.
6. Purohit G.N., Sherry A.M. and Saraswat M. (2013) "Optimization of function by using a new MATLAB based genetic algorithm procedure", *International Journal of Computer Applications*, 61(15), pp. 1-5.
7. Deb K. (2001) *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, Chichester: UK, John Wiley & Sons.
8. Goldberg D.E. (1994) *Genetic Learning in optimization, search and machine learning*. Addison Wesley.
9. Deb K., Pratap A., Agarwal S. and Meyarivan T. (2002) "A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm: NSGA-II", *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), pp. 182-197, DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
10. Jadaan O., Rao C.R., Rajamani L. (2008) "Non-dominated ranked genetic algorithm for solving multi-objective optimization problem: NRG", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, pp. 60-67
11. Van Veldhuizen D.A. & Lamont G.B. (2000). "Multiobjective optimization with messy genetic algorithms", *In Proceedings of the 2000 Symposium on Applied Computing*, pp. 470-476, DOI: <https://doi.org/10.1145/335603.335914>
12. Sirinaovakul B. & Thajchayapong, P. (1994). "A knowledge base to assist a heuristic search approach to facility layout", *International Journal of Production Research*, 32, pp. 141-160, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207549408956921>
13. Ye M. & Zhou G. (2007). "A local genetic approach to multiobjective, facility layout problems with fixed aisles". *International Journal of Production Research*, 45, pp. 5243-5264, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540600818179>
14. Scholz D., Jaehn F., & Junker A. (2010). "Extensions to STaTS for practical applications of the facility layout problem", *European Journal of Operational Research*, 204, pp. 463-472, DOI: <http://doi.org/10.1016%2Fj.ejor.2009.11.012>

Received (Надійшла) 23.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.04.2022

Optimal parametric synthesis of stochastic end position control systems

Yevhen Kalinin, Vitalii Tkachov, Dmytro Lysytsia, Alina Rybalchenko

Abstract. The subject of research in the article is linear stochastic dynamic control systems for the final position. The goal of the work is to synthesize efficient numerical algorithms for machine design of linear stochastic dynamic systems for controlling the final position. The objectives of the study are to build synthesis algorithms based on the application of the method of inversion-conjugate systems, as well as to reduce the dimension of the space of optimized parameters. **Applied methods:** inversion-conjugate systems for the formation of a quality criterion, methods for reducing the dimension of the space of optimized parameters based on the spectral analysis of the curvature matrix. **The obtained results:** the search for optimal parameters in the proposed sub-space can be carried out by all methods of the first or second order using the designed matrices. When the minimum point of the criterion is reached in the subspace, the gradient and curvature are calculated in it and, based on the spectral analysis, a new subspace of the proposed type is constructed, followed by repetition of the optimization process. The proposed search strategy reduces the number of optimization steps. **The practical significance of the work** lies in the fact that using matrices of conjugate variables, effective methods for calculating the gradient and curvature of the optimization criterion are obtained. Since the time for calculating the gradient according to the proposed dependencies is mainly determined by the time of integrating the equations for conjugate matrices, it is approximately equal to the time of integrating the equations for determining the fundamental matrix and variance.

Keywords: numerical algorithm; machine design; linear stochastic dynamical system; parameter space, optimization.

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

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF CUSTOMER RELATIONSHIP INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

Abstract. The article analyzes the state of the problem of developing and implementing a customer relationship management system. Features of the concept of "customer relationship management system" are considered. The authors performed an analysis of the developed system and its implementation in the field of professional development of IT professionals. Possibilities of intensification of information process development in the field of professional development of IT specialists are shown and analyzed. A database has been developed to solve the problem of software in the field of professional development of IT professionals.

Keywords: information, information systems, customer relationship management system, software.

Introduction

The customer relationship management system (CRM system) plays a key role for a company of any scale and time of existence, whose main activity is related to sales of products or services. Today, in order to make a profit, companies need to build mutually beneficial and long-term cooperation with their customers, based on constant contact and development of relations between them. Implementation of customer-oriented strategy in modern business is impossible without the appropriate methodology and tools. Therefore, the concept of customer relationship management system is closely related to specialized CRM-solutions - computer programs that implement in their functionality the principles of customer-oriented work. As the human circulatory system carries oxygen to all organs, so the customer relationship management system "feeds" the company with information about customers, their needs and preferences, the state of relationships with them, the results of employees, sales, and others. The modern CRM concept goes beyond the classic framework and, in addition to the above areas, affects the time management of employees who interact with customers, as well as the processes used when working with customers (service, claims processing, satisfaction assessment, etc.).

Analysis of recent research and publications.

The issue of developing the CRM concept should be explored, starting with the analysis of the meaning of words as "customer relationship management system". In particular, U. Parpan believe that special software allows you to automate relevant business processes in marketing, sales and service [7]. The main task of CRM systems analyzes A. Aksyutina, O. Nestertsova-Sobakar, V. Tropin [5, 7]. The main task of CRM systems is to increase the efficiency of business processes focused in the front office and aimed at attracting and retaining customers in marketing, sales, service and service, regardless of the channel through which customer contact takes place [1, 2, 4].

The presented results of researches of experts allow to assert about urgency of the set task of development of the corresponding software. We believe

that there is a problem in the study and application of software in the information space of modern development.

Main part

At the level of CRM technologies, it is a set of applications related to a single business logic and integrated into the company's corporate information environment on the basis of a single database. Special software allows you to automate relevant business processes in marketing, sales and service. As a result, the company can contact the right customer at a certain time with the most effective offer and the most convenient customer channel of interaction. In practice, the integrated system of the developed software product provides coordination of actions of different departments, providing them with a common platform for interaction of all subjects of cooperation.

There are different types of advanced training courses: educational, developmental, professional. In the field of information technology (IT), courses help people much easier, in a short time to gain the necessary knowledge for the initial entry into the profession, or the study of other technologies. The purpose of this work is to automate IT courses by creating a template database and CRM system, which contain tables for participants, teachers, payment, time spent, which will help reduce the cost of resources for their implementation [1, 2, 4].

The dbForge Studio for SQL Server development environment was chosen to implement the database. dbForge Studio for SQL Server includes built-in tools for process automation to help developers speed up the database development process, namely: editing and executing SQL queries; creation of database objects in the visual editor; organization of relationships between tables. Let's move on to creating database tables directly. Creating tables involves adding fields and their types, and entering data values.

The "Teacher" table contains information about teachers. It contains fields such as: IdTeacher - is responsible for automatic numbering of rows of the table; LFM - contains information about the name, surname and patronymic of the teacher; Age - contains information about the age of the teacher. The "Students"

table contains information about the list of students enrolled in the courses. It contains fields such as: IdStudent - is responsible for the identification number of students in the system; LFM - contains information about the name, surname and patronymic of the listener; Birthday - contains information about the date of birth of the listener; Sex - contains information about gender; Education - contains information about education; Telephone - contains information about the phone number; Email - contains information about e-mail; Subscribe - contains information on whether the student has an active subscription. The Payment table contains information about each transaction. It contains fields such as: ID_Payment - contains information about the payment index; ID_Student - contains information about the student index; Data - contains information about the date of payment; Sum - contains information about the amount paid.

The "Way" table contains information about possible types of tasks that appear in the list of tasks of the Olympiad. It contains fields such as: ID_Way - is responsible for the identification number of course directions; Name_Way - contains information about destinations; Hour - contains information about the number of hours in this direction.

The "Group" table contains information about the groups studying at the academy. It contains fields such

as: ID_Group - is responsible for the identification number of the group; Auditorium - contains information about the audience in which the lesson takes place, or codes for distance learning; Date_Start - contains information about the start date of classes; Date_End - contains information about the end date of classes; Days_lessons - contains information about the days on which the tasks take place; Time_lessons - contains information about the time of classes; Id_way - contains information about the identification number directly; Id_Teacher - contains information about the teacher's index; Payment - contains information about the payment, how much you need to pay to have access.

The "Set_In_Groups" table contains information about which listeners are connected to which group. It contains fields such as: ID_Group - is responsible for the identification number of the group; ID_Student - contains information about the student's identification number; Type_Payment - type of payment. To establish relationships between tables, you must either: on the toolbar, select the New Relation button and link from the field that requires data from another table to the field with these values; set the Primary Key property for the field that contains the required data and the Foreign Key property for the field that should contain this data. Once the connections are established, the connection diagram looks as shown in Fig. 1.

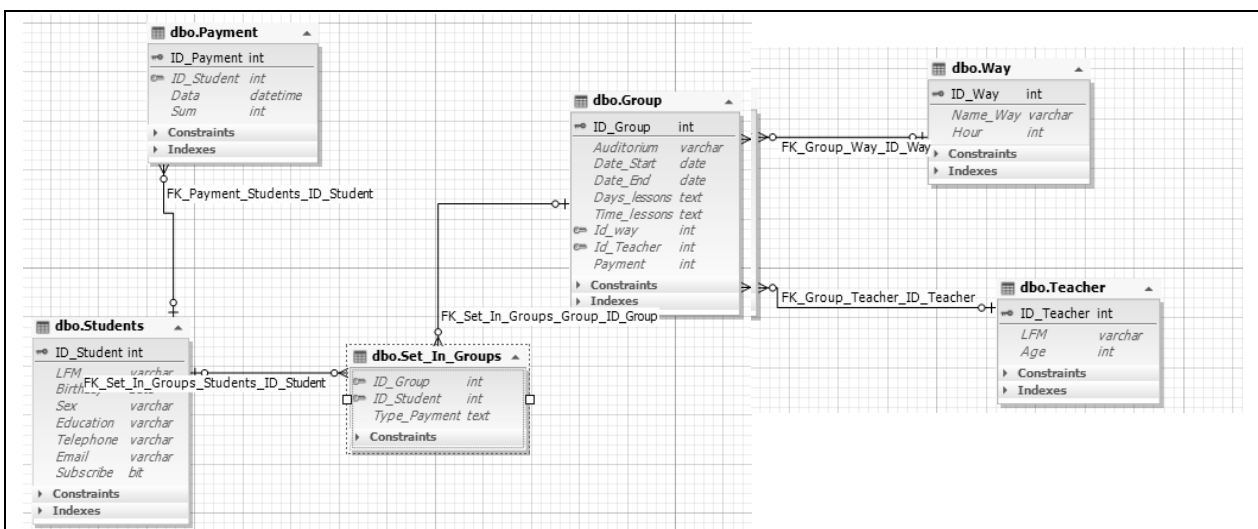


Fig. 1. Database connection diagram

The process of verifying data integrity and database consistency (DB) is called database testing. The importance of database testing is due to the fact that the database is an integral part of the software. Database testing includes checking stored procedures, views, schemas in the database, tables, indexes, keys, checking data and their integrity. In this case, the testing was performed using the dbForge Studio for SQL Server database interface. It involves checking data types in tables, checking data types in primary and foreign keys, zero field values, checking the ability to add, delete and update data.

The "heart" of any CRM system is a database of both individuals and legal entities that interact with your

company in the enterprise. These are not only customers, but also branches of the company, partners, suppliers, competitors. Customer information itself is a valuable asset, and competent data management in the system allows you to use it to work with maximum efficiency. The customer base is consolidated, the organization receives complete information about its customers and their preferences and, based on this information, builds a strategy of interaction.

CRM program reduces time to daily routine. The system provides all the necessary tools to manage both external and internal document management of the company. These tools provide tools for automatic document generation by template, preparation of printed

forms of documents, support for the latest version of documents, quick search of documents in the system, creating an electronic document repository and more. When maintaining documentation in CRM, you can organize teamwork with documents with flexible delimitation of access rights, electronic visas, as well as accounting for relationships between documents.

It is impossible to increase the profitability of the enterprise without an in-depth analysis of information about customers, their values and profitability, identifying "bottlenecks" in the company's business processes, analysis of the sales system. Standard reports provide an opportunity to analyze and monitor all typical business tasks. With the built-in report generator, you can create analytical forms that meet the specific objectives of each enterprise. CRM system functions: basic integrations do not require the participation of programmers; versatile analytics; prognostication; real-time notification.

In the same way we create a group for course participants. After forming groups, select the Contacts module and enter information about each student and teacher, not forgetting to mark the corresponding contact group in the Account Name field. To create, you need to select a link to create a new one from the existing modules.

After entering all the records for the groups available in the academy, the list of records is configured by selecting the fields to be displayed.

An office suite such as Zoho Office Suite, namely Zoho CRM, was used to complete the task of creating a CRM system.

The main advantages of this CRM system are: accounting for contacts, transactions, customers and orders of suppliers, invoices, customer referrals,

products and more; the ability to create your own modules; automation of business processes; free version for 30 days; Integration with a huge number of proprietary applications and third-party vendors.

To get started you need to register, then you will be able to view the available applications, among which we are interested in Zoho CRM. After registration, select the Accounts module to create two groups of users - students and teachers who read the course.

Conclusions

During the work, a database and CRM-system on the topic "Academy of IT courses" were developed, which allows to automate the process of conducting group formation classes and checking the payment of classes.

The database contains tables with fields for accounting of students and teachers, for payment transactions, for areas in which there are groups, for the groups themselves. In turn, the CRM system provides a user-friendly interface and opportunities to expand and develop the project by connecting additional modules. To develop a database.

DbForge Studio for SQL Server database management system was used to establish connections, enter data, create connections and query charts, and ZohoCRM client relationship management system was used to create CRM system.

The practical result of the work is the development and implementation of information system for IT courses by creating a template database and CRM system, which contain tables for participants, teachers, payment, time spent, which helped not only reduce the cost of resources, but to solve a number of other in the study of tasks.

REFERENCES

1. An overview of the top twenty CRM systems for business. URL: <https://esputnik.com/uk/blog/oglyad-dvadcyatki-najk>
2. Integration and implementation of one of the best CRMs in the world to automate the work of the sales department URL: <https://uk.crmoz.com/crm-zoho>
3. Капітон, А. Modern problems of information security. Причорноморські публічно-правові читання: Матеріали міжнародної наукової конференції. Гельветика. 2021. Ч. 1. С.99-101.
4. What is a CRM system and how does it work? URL: <https://www.terrasoft.ua/page/definition-crm>
5. Аксютіна, А., Нестерцова-Собакар, О., Тропін, В. Інтелектуальна власність: навч. посібник Дніпро, Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ, 2017. 140 с.
6. Опис продукту dbForge Studio URL: <https://itpro.ua/product/dbforge/?tab=description>
7. Парпан, У. Інформатизація – сучасна тенденція розвитку освіти URL: <http://aphd.ua/publication-381/>

Received (Надійшла) 07.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

Розробка та впровадження інформаційної системи управління взаємовідносинами з клієнтами

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

Анотація. Стаття аналізує стан проблеми розробки та впровадження інформаційної системи управління взаємовідносинами з клієнтами. Розглянуто особливості поняття «система управління взаємовідносинами з клієнтами». Авторами виконано аналіз розробленої системи та впровадження її в сфері підвищення кваліфікації фахівців ІТ галузі. Показані та проаналізовані можливості інтенсифікації розвитку інформаційного процесу в сфері підвищення кваліфікації фахівців ІТ галузі. Розроблено базу даних для вирішення проблеми програмного забезпечення в сфері підвищення кваліфікації фахівців ІТ галузі.

Ключові слова: інформація, інформаційні системи, система управління взаємовідносинами з клієнтами, програмне забезпечення.

Lev Raskin¹, Larysa Sukhomlyn², Dmytro Sagaidachny¹, Roman Korsun¹

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

²Kremenchuk Mikhail Ostrogradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine

MANAGEMENT IN HIGH-DIMENSIONAL MARKOV SYSTEMS

Abstract. A problem of analyzing Markov systems along with a large number of states has been considered. The conventional computational procedure for obtaining analytical ratios for calculating the distribution of system states is based on the use of a system of Kolmogorov differential equations. The system of linear algebraic equations being formed later can be easily solved numerically. However, the complexity of obtaining an analytical solution increases rapidly with the increase in the problem dimension. In this regard, the purpose is to develop an effective method for studying Markov systems, the computational procedure of which ensures the possibility of obtaining solutions for high-dimensional models. The method is based on the decomposition of states graph and system transitions. The obtained analytical expressions allow to set and solve the problem of rational resource distribution for changing the values of the system parameters to increase its efficiency. The method ensures the possibility of solving management problems in Markov systems along with a large number of possible states. An example of method application has been considered.

Keywords: Markov system, calculation of distribution of states, decomposition computational pattern, states probabilities management.

Introduction

The procedures of functioning of a significant part of modern complex technical, environmental, military and other systems can be described by a mathematical model of the same type in many important respects. Firstly, such systems can be in one of the many possible states at any specific time. Secondly, the system shifts from one possible state to another under the impact of one or more random events (requests, service requirements, etc). Thirdly, the service duration of each requirement is a continuous random variable, the distribution density of which is assumed to be well known (or it can be determined by the results of statistical tests). Fourthly, the system is manageable in the sense that it has a limited consumable resource that can be used to change certain given system parameters to increase its efficiency. The similarity of various systems under these distinctive features predetermines the possibility of using the same type of mathematical models to analyze them.

On the other hand, the observed differences in the functioning procedures for specific systems are primarily due to differences in their individual specifications. The most important role here is played by various mechanisms inherent in each system for the formation of random variables of the related parameters. Herewith, to the utmost, the nature of the mathematical description of the procedure of functioning of such systems is determined by the type of probability-theoretic models of the dynamics of system transitions from one possible state to another. The complexity level of solving the problems of analyzing such systems and managing them is determined by the type of dynamics models of these systems. Let's briefly analyze the traditional approaches.

Analyzing known results

The simplest model of system dynamics occurs unless all procedures within the system are Markov ones. In this event, a set of differential equations of A.N. Kolmogorov [1, 2] is used to analyze the system, obtained as follows [3]. For arbitrary pair of possible states of the system (j, k), an indicator $R(j, k)$ is entered,

which shall be equal to 1 if a transition from the j -th state to the k -th one is possible in one step. Otherwise, $R(j, k) = 0$. Now, for an arbitrary state k of the system, a set of Z_k^+ of its states is entered, from which a transition to state k is possible in one step, that is:

$$Z_k^+ = \{j : R(j, k) = 1\},$$

and also, a set Z_k^- of such states in which a transition from state k is possible in one step, that is:

$$Z_k^- = \{j : R(k, j) = 1\},$$

Next, $P_k(t)$ is entered, which is a function specifying the probability that the system at time period t shall be in the state k , $k \in Z$, Z is the set of possible states of the system, $Z = \{0; 1; 2; \dots; n\}$. The A.N. Kolmogorov's differential equations system in regard of the functions P_k , $k \in Z$, is as follows

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \sum_{j \in Z_k^+} \lambda_{jk} P_j(t) - P_k(t) \sum_{j \in Z_k^-} \lambda_{kj}, k \in Z. \quad (1)$$

Here λ_{jk} is the rate of transition of the system from state j to state k , the parameter of the distribution density of the random duration of the system's stay in state j prior to the transition to state k ,

$$\phi_{jk}(t) = \lambda_{jk} e^{-\lambda_{jk} t}, t > 0.$$

To solve the differential equations system (1), one should use the Laplace transformation, which converts differential equations into algebraic ones. As it is known [3, 4], the Laplace transformation of the function $u(t)$ is a function

$$L(u(t)) = \int_0^{\infty} u(t) e^{-st} dt = F(s). \quad (2)$$

Herewith the following important property of the Laplace transformation is used:

$$L(u'(t)) = \int_0^{\infty} u'(t) e^{-st} dt = u(t) e^{-st} \Big|_0^{\infty} +$$

$$+s \int_0^{\infty} u(t)e^{-st} dt = sL(u(t)) - u(0). \quad (3)$$

By converting ratios (1) according to Laplace, we get

$$s\pi_k(s) - P_k(0) = \sum_{j \in Z_k^+} \lambda_{jk} \pi_j(s) - \pi_k(s) \sum_{j \in Z_k^-} \lambda_{kj}. \quad (4)$$

Upon the reduction of such terms, the system of linear algebraic equations (4) shall be as follows

$$\begin{cases} b_{00} \pi_0(s) + b_{01} \pi_1(s) + \dots + b_{0n} \pi_n(s) = C_0; \\ b_{10} \pi_0(s) + b_{11} \pi_1(s) + \dots + b_{1n} \pi_n(s) = C_1; \\ \dots \\ b_{n0} \pi_0(s) + b_{n1} \pi_1(s) + \dots + b_{nn} \pi_n(s) = C_n. \end{cases} \quad (5)$$

Following the solution of the equations system (5) according to Cramer's rule [5], we get

$$\pi_i(s) = \frac{D_i(s)}{D(s)}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n,$$

where $D_i(s)$, $D(s)$ are the determinants of the related matrices.

Next, the inverse Laplace transformation is performed, while providing the required set of functions $P_k(t)$, $k = 0, 1, \dots, n$.

In terms of practice, the maximum variables of the obtained functions are of the greatest interest, i.e., variables equal to

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_k(t) = P_k, \quad k = 0, 1, \dots, n,$$

Herewith the differential equations (1) are simplified to as follows:

$$\sum_{j \in Z_k^+} \lambda_{jk} P_j - P_k \sum_{j \in Z_k^-} \lambda_{kj}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

The solution of this linear algebraic equations system, being easily obtained for any set of rate variables (λ_{jk}), determines the required distribution of system states. (P_k), $k=0, 1, \dots, n$. It is enough to analyze a specific system, thus in the predominant number of known works, the problem solution is limited thereto [6, 7]. However, the problems of managing the system resource to increase its efficiency the analytical expressions are required that explicitly reflect the dependences of the probabilities of system states on the values of related parameters. The equations system (6) allows to obtain the required analytical ratios unless the system order is minor ($n \leq 5$). But the technical and computational complexity of solving this system "manually" along with an increase in the problem dimension rapidly becomes difficult to overcome [6, 7]. This circumstance manifests itself especially demonstratively unless the system under consideration is multi-threaded. Let's enter, for instance, a graph of states and transitions of the simplest triple-threaded two-phase system (Fig. 1). This system has 27 states. It is difficult to analyze such a system using conventional methods. Pursuant thereto, the purpose of the study is to develop a method for calculating management in a high-dimensional Markov system.

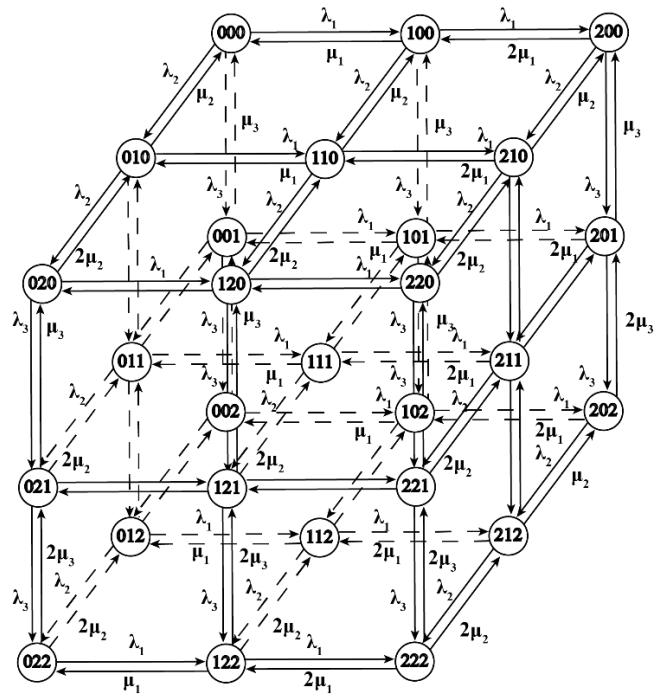


Fig. 1. Graph of states and transitions in a triple-thread two-phase Markov system

Development of a method for analytical calculation of system states probabilities

To obtain the required analytical expressions, one should use a technique based on the idea of decomposition of states [8]. The related computational procedure is implemented as follows. Initially, the entire set of possible system states Z is divided into non-overlapping subsets (Z_1, Z_2, \dots, Z_n), $\cup Z_k = Z, \cap Z_k = \emptyset$. The set of states included in a particular subset shall be called the related group state. At the first step of the procedure, a state transition matrix is formed for each group state, using which a system of linear algebraic equations is given with respect to the probabilities of states of this subset.

The solution of this equations system determines the conditional distribution of states of the allocated group state. At the second step, the probabilities of transitions from each group state to other states are calculated. For the allocated pair of group states, the probability of transition from the first state to the second one is equal to the sum of productions of the conditional probabilities of each state of the first subset multiplied by the probabilities of transition to incident states from the second subset. The aggregate of calculated probabilities of transitions between group states is used to find the distribution of group states. At the final step of the procedure, the system states probabilities are determined. Herewith the probability of a particular state from a certain group state is determined by the production of both the conditional probability of this state and the probability of the related group state.

Let's consider the simplest instance of this approach implementation. Let the graph of states and transitions for a double-channel Markov system along with two independent incoming threads is as shown in Fig. 2, where, λ_1 is the rate of the first incoming thread, μ_1 is the rate of the first thread requests servicing, λ_2 is the rate of

the second incoming thread, μ_2 is the rate of the second thread requests servicing.

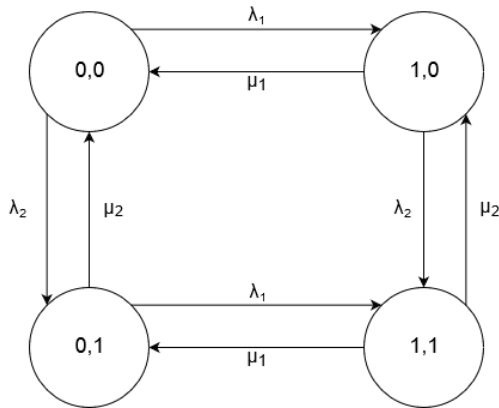


Fig. 2 Graph of states and transitions

Let's make a Kolmogorov equations system concerning the required probabilities

$$\begin{cases} \mu_1\pi_{10} + \mu_2\pi_{01} - \lambda_1\pi_{00} - \lambda_2\pi_{00} = 0, \\ \lambda_1\pi_{00} + \mu_2\pi_{11} - \mu_1\pi_{10} - \lambda_2\pi_{10} = 0, \\ \lambda_2\pi_{00} + \mu_1\pi_{11} - \lambda_1\pi_{01} + \mu_2\pi_{01} = 0, \\ \pi_{00} + \pi_{01} + \pi_{10} + \pi_{11} = 1, \end{cases}$$

or, upon ordering the addends in each of the equations, we get

$$\begin{aligned} (\lambda_1 + \lambda_2)\pi_{00} - \mu_2\pi_{01} - \mu_1\pi_{10} &= 0, \\ \lambda_2\pi_{00} + (\mu_2 - \lambda_1)\pi_{01} + \mu_1\pi_{11} &= 0, \\ \lambda_1\pi_{00} - (\mu_1 + \lambda_2)\pi_{10} + \mu_2\pi_{11} &= 0, \\ \pi_{00} + \pi_{01} + \pi_{10} + \pi_{11} &= 1. \end{aligned}$$

Let's enter

$$H = \begin{pmatrix} \lambda_1 - \lambda_2 & -\mu_2 & -\mu_1 & 0 \\ \lambda_2 & \mu_2 - \lambda_1 & 0 & \mu_1 \\ \lambda_1 & 0 & -(\mu_1 + \lambda_2) & \mu_2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}; \quad \pi = \begin{pmatrix} \pi_{00} \\ \pi_{01} \\ \pi_{10} \\ \pi_{11} \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Then

$$H\pi = B, \text{ from which } \pi = H^{-1} B. \tag{7}$$

The obtained ratio allows to easily find a numerical solution, however, obtaining first-order definable ratios describing the analytical dependence of states probabilities on the transition rates even in this simple problem causes a rather cumbersome procedure. In this regard, one should use the technology of decomposition of the system structure.

Let's enter a set of lumped states E_0 and E_1 :

$$E_0 = \{S_{00}, S_{10}\}, E_1 = \{S_{01}, S_{11}\}. \tag{8}$$

Herewith the conditional probability distributions of the system staying in the states of subsets E_0, E_1 are as follows

$$\hat{P}_0 = (\hat{P}_{00}, \hat{P}_{10}) = \left(\frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1}, \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \right), \tag{9}$$

$$\hat{P}_1 = (\hat{P}_{01}, \hat{P}_{11}) = \left(\frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1}, \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \right), \tag{10}$$

The probability of the system transition from the lumped state E_0 to the lumped state E_1 is equal to

$$W_{01} = \hat{P}_{00} \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} + \hat{P}_{10} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_1}. \tag{11}$$

In like manner, the probability of the system transition from the lumped state E_1 to the simplified state E_0 is equal to

$$W_{10} = \hat{P}_{01} \frac{\mu_2}{\lambda_1 + \mu_2} + \hat{P}_{11} \frac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2}. \tag{12}$$

Pursuant thereto, the stationary probabilities of the system staying in the lumped states E_0 and E_1 are equal to

$$Q = \{Q_0, Q_1\} = \left\{ \frac{W_{10}}{W_{01} + W_{10}}, \frac{W_{01}}{W_{01} + W_{10}} \right\}. \tag{13}$$

Then the stationary probabilities of the system staying in its possible states are determined by the following ratio

$$\begin{aligned} \pi_{00} &= \hat{P}_{00} Q_0; \quad \pi_{10} = \hat{P}_{10} Q_0; \\ \pi_{01} &= \hat{P}_{01} Q_1; \quad \pi_{11} = \hat{P}_{11} Q_1. \end{aligned} \tag{14}$$

Let's perform the required calculations. Let's substitute (9), (10) in (11), (12)

$$\begin{aligned} W_{01} &= \frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_1}, \\ W_{10} &= \frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\mu_2}{\lambda_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2}. \end{aligned}$$

Next

$$\pi_{00} = \hat{P}_{00} \frac{W_{10}}{W_{10} + W_{01}} = \hat{P}_{00} \frac{1}{1 + \frac{W_{01}}{W_{10}}}. \tag{15}$$

Since

$$\begin{aligned} W_{01} &= \frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_1} = \\ &= \frac{\lambda_2}{\mu_1 + \lambda_1} \left(\frac{\mu_1}{\lambda_2 + \lambda_1} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \mu_1} \right) = \\ &= \frac{\lambda_2(\mu_1\lambda_2 + \mu_1^2 + \lambda_1\lambda_2)}{(\mu_1 + \lambda_1)(\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_2 + \mu_1)} = \\ &= \frac{\mu_1\lambda_2^2 + \lambda_2\mu_1^2 + \lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_2\lambda_1^2}{(\mu_1 + \lambda_1)(\lambda_1 + \lambda_2)(\lambda_2 + \mu_1)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{10} &= \frac{\mu_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\mu_2}{\lambda_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \lambda_1} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} = \\
 &= \frac{\mu_2}{\mu_1 + \lambda_1} \left(\frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1 + \mu_2} \right) = \\
 &= \frac{\mu_2(\mu_1^2 + \mu_1\mu_2 + \lambda_1^2 + \lambda_1\mu_2)}{(\mu_1 + \lambda_1)(\mu_2 + \lambda_1)(\mu_1 + \mu_2)} = \\
 &= \frac{\mu_2\mu_1^2 + \mu_1\mu_2^2 + \mu_2\lambda_1^2 + \lambda_1\mu_2^2}{(\mu_1 + \lambda_1)(\mu_2 + \lambda_1)(\mu_1 + \mu_2)},
 \end{aligned}$$

then

$$\begin{aligned}
 \frac{W_{01}}{W_{10}} &= \frac{\left(\mu_1\lambda_2^2 + \lambda_2\mu_1^2 + \lambda_1\lambda_2^2 + \lambda_2\lambda_1^2 \right) (\mu_2 + \lambda_1) (\mu_1 + \mu_2)}{\left(\mu_2\mu_1^2 + \mu_1\mu_2^2 + \mu_2\lambda_1^2 + \lambda_1\mu_2^2 \right) (\lambda_1 + \lambda_2) (\lambda_2 + \mu_1)} = \\
 &= \frac{\mu_1\lambda_2(\lambda_2 + \mu_1) + \lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2)}{(\lambda_2 + \mu_1)(\lambda_1 + \lambda_2)} \times \\
 &\quad \times \frac{(\lambda_1 + \mu_2)(\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1\mu_2(\mu_1 + \mu_2) + \lambda_1\mu_2(\lambda_1 + \mu_2)} = \\
 &= \frac{(\mu_1\lambda_2/(\lambda_1 + \lambda_2) + \lambda_1\lambda_2/(\lambda_2 + \mu_1))}{(\mu_1\mu_2/(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1\mu_2/(\mu_1 + \mu_2))} = \\
 &= \frac{\frac{(\mu_1/\lambda_1) \cdot \lambda_2}{1 + \lambda_2/\lambda_1} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2/\lambda_1 + \mu_1/\lambda_1}}{\frac{(\mu_1/\lambda_1) \cdot \mu_2/\lambda_2}{1/\lambda_2 + (\mu_1/\lambda_1) \cdot (1/\lambda_2)} + \frac{\mu_2/\lambda_2}{(\mu_2/\lambda_2)/\lambda_1 + (\mu_2/\lambda_2)/\lambda_1}}.
 \end{aligned} \tag{16}$$

Let's enter new variables: $x_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1}; x_2 = \frac{\mu_2}{\lambda_2}$. Then

(15) considering (16) shall be as follows:

$$\begin{aligned}
 \pi_{00} &= \frac{x_1}{(1+x_1) \left[1 + \frac{\frac{x_1}{1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} + \frac{1}{\frac{\lambda_2}{\lambda_1} + x_1}}{\frac{x_1x_2}{1+x_2} + \frac{x_2}{x_1+x_2} \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \right]} = \\
 &= \frac{x_1}{1+x_1} \cdot \frac{1}{1+A}.
 \end{aligned} \tag{17}$$

Next, considering (14) we get:

$$\begin{aligned}
 \pi_{10} &= \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \cdot \frac{1}{A+1}; \\
 \pi_{01} &= \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{1}{1+A^{-1}}; \\
 \pi_{11} &= \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{1}{1+A^{-1}}
 \end{aligned} \tag{18}$$

Let's analyze the obtained ratios. Let

$$\lambda_1 = \lambda_2, \mu_1 = \lambda_1, \mu_2 = \lambda_2.$$

Then in such a system that is completely symmetric in respect of all parameters, the probabilities of all states shall be the same and, as follows from (17), (18), equal to 0.25. Within normal functioning system, the request servicing rate is higher than that of the reception thereof, that is, $\mu_1 > \lambda > 1, \mu_2 > \lambda > 2$, i.e., $x_1 > 1, x_2 > 1$. Herewith the probability π_{00} , which determines the system efficiency, will be as higher, as greater the variables x_1 and x_2 . The problem of optimizing a resource that can be used to increase the servicing rate, shall be provided with a restriction

$$x_1 + x_2 \leq c, \quad x_1 > 1, \quad x_2 > 1 \tag{19}$$

Now this resource allocation problem is formulated as follows: let's find a set (x_1, x_2) satisfying (19) and maximizing (17). The complexity of the analytical description of the objective function (17) restricts the possibility to solve the resulting mathematical programming problem using standard methods of both the first and second orders. In this context, one should use the downhill simplex method [7] to solve the problem. The objective function of the problem contains addends specifying penalties for violating restrictions (19):

$$\begin{aligned}
 F(x_1, x_2) &= \\
 &= \pi_{00}(x_1, x_2) R_0 [\max\{(x_1 + x_2), c\} - c]^2 + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^2 R_i [1 - \min\{1, x_i\}]^2.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Herewith the component

$$R_0 [\max\{(x_1 + x_2), c\} - c]^2$$

determines the penalty unless the variable $(x_1 + x_2)$ exceeds c . Components

$$R_i [1 - \min\{1, x_i\}]^2$$

act in a similar way unless the values of variables x_1 or x_2 shall be less than one.

The coordinates of the vertices of the initial simplex A, B, C are given by the matrix

$$\gamma = \begin{pmatrix} 1 & d_1 + 1 & d_2 + 1 \\ 1 & d_2 + 1 & d_1 + 1 \end{pmatrix};$$

$$d_1 = \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} + 1) = 0.96; \quad d_2 = \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} - 1) = 0.26.$$

The coordinates of the vertices of this simplex were chosen so that the distance between any two vertices was equal to one. Indeed, let the vector $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ sets the

coordinates of vertex A of the simplex, the vector $\begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} + 1) \\ 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3} - 1) \end{pmatrix}$ sets the coordinates of vertex B and

the vector $\begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}-1) \\ 1 + \frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}+1) \end{pmatrix}$ sets the coordinates of vertex C.

Herewith

$$\begin{aligned} R_{AB} &= R_{AC} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}+1)\right)^2 + \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}-1)\right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{8}(4+2\sqrt{3}) + \frac{1}{8}(4-2\sqrt{3})} = 1; \\ R_{BC} &= 2 \left[\left(\frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}+1)\right) + \left(\frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{3}-1)\right) \right]^2 = \\ &= 2 \left[\frac{1}{2\sqrt{2}} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \right]^2 = 1. \end{aligned}$$

Resulting from the implementation of the downhill simplex method procedure the $c=5$ shall get a vector specifying the distribution $(x_1, x_2) = (3.06; 1.94)$, while maximizing the system state probability whereby both channels are free.

Herewith, $\pi_{00}=0.44$, $\pi_{10}=0.14$, $\pi_{01}=0.28$, $\pi_{11}=0.14$. The problem has been solved.

The proposed decomposition technology of state aggregation allows to solve the problem of finding analytical ratios linking the numerical values of the parameters of high-dimensional Markov systems with its efficiency. These ratios provide an opportunity to

formulate a criterion for the system efficiency and, thus, to set and solve the problems of system resource management. It should be also noted, that when solving a management problem in an ultra-high-dimensional Markov system, a hierarchically organized multi-stage decomposition can be used so that the problem dimension does not exceed the permissible value at each stage. An important area of further research in terms of practice is the dissemination of a decomposition approach to analyze multi-threaded systems with a priority set, for instance, using the pair-wise comparison method [9].

Summary

The known methods for solving the problem of Markov systems have been analyzed. It was confirmed that the conventional procedure based on solving a Kolmogorov equations system provides a numerical solution for problems of almost any dimension.

It was demonstrated that the computational complexity of obtaining analytical expressions for calculating the distribution of system states increases rapidly with an increase in the number of states and becomes compelling for systems of actual dimension.

A method for calculating the probabilities of states of a Markov system was proposed based on the decomposition of states graph, which reduced high dimension problems to a sequence of low-dimension ones.

The proposed approach allows to obtain analytical ratios that establish a relationship between the system probability distribution and a set of its initial parameters (system transition rates). The obtained ratios allow for system resources management to increase its efficiency.

REFERENCES

1. Dynkin E.B. Markov procedures. - M.: Fizmatlit, 1963. – 860 p.
2. Barucha J., Snell J. Markov procedures theory elements. - M.: Nauka, 1969. – 384 p.
3. Raskin L.G. Analyzing complex systems and optimal management theory elements. - M.: Sov. Radio, 1976. – 344 p.
4. Ditkin V.A., Prudkov A.P. Integral transformations and operational calculus. - M.: Nauka, 1974. – 544 p.
5. Gelfand I.M. Lectures on linear algebra. – M.: Dobrosvet, 1998. – 320 p.
6. Ivanov V.V. Computing techniques using ECM. - Kiev: Naukova dumka, 1986. – 584 p.
7. Raskin L.G. Mathematical programming. – Kh.: NTU "KhPI", 2002. – 125 p.
8. Raskin L.G. Analysis of Markov chains using phase aggregation of states. // Science, equipment, technology, education, health.-Kh.- NTU, 1997.
9. Raskin L.G., Seraya O.V. Creation of a scalar preference criterion based on the results of pairwise comparisons // Bulletin of NTU of KhPI.-Kh.: NTU of KhPI, 2003, No. 6, pp. 63-68.

Received (Надійшла) 21.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Управління у марківських системах високої розмірності

Л. Г. Раскін, Л. В. Сухомлин, Д. О. Сагайдачний, Р. О. Корсун

Анотація. Розглянуто завдання аналізу марківських систем із великою кількістю станів. Традиційна обчислювальна процедура отримання аналітичних співвідношень для розрахунку розподілу ймовірностей станів системи заснована на використанні системи диференціальних рівнянь Колмогорова. Сформована в подальшому система лінійних алгебраїчних рівнянь легко вирішується чисельно. Однак складність отримання аналітичного рішення швидко зростає зі збільшенням розмірності задачі. У зв'язку з цим мета - розробка ефективного методу дослідження марківських систем, обчислювальна процедура якого забезпечує можливість отримання рішення для моделей високої розмірності. Метод заснований на декомпозиції графа станів та переходів системи. Одержувані аналітичні вирази дозволяють поставити і вирішити задачу раціонального розподілу ресурсу для зміни значень параметрів системи з підвищення її ефективності. Метод забезпечує можливість вирішення завдань управління у марківських системах з великою кількістю можливих станів. Розглянуто приклад застосування методу.

Ключові слова: Марківська система, розрахунок розподілу ймовірностей станів, декомпозиційна обчислювальна схема, управління ймовірностями станів.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОДОЛАННЯ ПЕРЕШКОД ДЛЯ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Анотація. Більшість існуючих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) пілотуються за допомогою пультів дистанційного керування. При цьому при виконанні деяких робіт (геологічних, геодезичних, рятувальних, пошукових) є обмеження пов'язані з недостатньою робочою дальністю БПЛА. Тому є необхідність автоматичного керування БПЛА. При автоматичному керуванні БПЛА одним з завдань є формування траєкторії руху БПЛА, при виконанні геодезичних, пошукових та інших робіт, включаючи автоматичне маневрування для обходу перешкод. У статті наведено схему нечіткого логічного висновку. Сукупність значень нечітких вхідних лінгвістичних змінних (ЛЗ), вихідних ЛЗ утворює нечітку базу даних, сукупність правил нечітких продукцій утворює нечітку базу знань. Кожне нечітке число представлено трикутними або трапецієподібними упорядкованими дійсними числами та задано функцією належності. Для опису простору в напрямку руху БПЛА використовуються вхідні сигнали датчиків. Після обминання перешкоди навігація БПЛА може здійснюватися за допомогою GPS. Простір в напрямку руху БПЛА поділено на p ть секторів, в яких аналізується наявність перешкод та відстань до них. Введено три вхідні лінгвістичні змінні – дві для аналізу розташування перешкоди (ЛЗ «Горизонталь» та ЛЗ «Вертикаль») та одна для аналізу відстані до перешкоди (ЛЗ «Відстань»). Щодо вихідних змінних, в залежності від розташування перешкоди БПЛА буде змінювати кут ризику, швидкість руху та висоту. Введено три вихідні ЛЗ – «Кут», «Швидкість» та «Висота» та побудовано їх функції належності. Складено базу нечітких продукційних правил виду: якщо «значення вхідних змінних», то «значення вихідних змінних». Використано систему нечіткого виводу типу Мамдані. За допомогою програми перегляду правил системи нечіткого виведення (Rule Viewer) та програми перегляду поверхні системи нечіткого виведення (Surface Viewer) Fuzzy Logic Toolbox проаналізовано результати створеної нечіткої системи. Розроблений у цій статті підхід до запобігання зіткненню БПЛА з перешкодами на основі апарату нечіткої логіки відрізняється від відомих аналогів способом координатії БПЛА, сукупністю керуючих правил. Застосування апарату нечіткої логіки дозволяє успішно вирішувати завдання формування траєкторії руху БПЛА в залежності від розташування перешкоди та відстані до неї.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, система подолання перешкод, лінгвістична змінна, нечітка логіка.

Вступ

Постановка задачі. На теперішній час БПЛА застосовуються в різних областях людської діяльності. Застосування БПЛА у дистанційному моніторингу земної поверхні, підвищує вимоги до систем автоматичного управління БПЛА та навігаційного забезпечення польоту. Керування БПЛА за допомогою оператора при охопленні значних територій вимагає вдосконалення системи контролю та керування БПЛА, також існує проблема пов'язана з подоланням перешкод при автоматичному управлінні БПЛА. Тому актуальною задачею є розробка системи подолання перешкод при автоматичному управлінні БПЛА при дослідженнях в геодезичних роботах, у випадках надзвичайних ситуацій, в пошукових та інших роботах.

Мета роботи. У разі неможливості обчислити траєкторію БПЛА до початку його руху або відсутність інформації про точне розташування перешкод доцільним є управління на основі нечіткої логіки. Тому мета даної роботи полягає в розробці системи формування траєкторії руху БПЛА для подолання перешкод на основі нечіткої логіки.

1 Нечітка логіка

Л. Заде розширив класичне канторівське поняття множини, припустивши, що характеристична функція (функція належності елемента множини) може набувати будь-яких значень в інтервалі $[0,1]$, а не тільки значення 0 або 1. Такі множини були названі

ним нечіткими (fuzzy) [1]. Ввівши поняття лінгвістичної змінної, і припустивши, що в якості її значень (термів) виступають нечіткі множини, Л. Заде створив апарат для опису процесів інтелектуальної діяльності, включаючи нечіткість і невизначеність виразів. Математична теорія нечітких множин дозволяє описувати нечіткі поняття та знання, оперувати цими знаннями та робити нечіткі висновки [2, 4].

Взаємозв'язок вхідних і вихідних змінних описується нечіткими продукційними правилами. Сукупність значень нечітких вхідних лінгвістичних змінних (ЛЗ), вихідних ЛЗ утворює нечітку базу даних, сукупність правил нечітких продукцій утворює нечітку базу знань. Схема нечіткого логічного висновку показана на рис. 1.

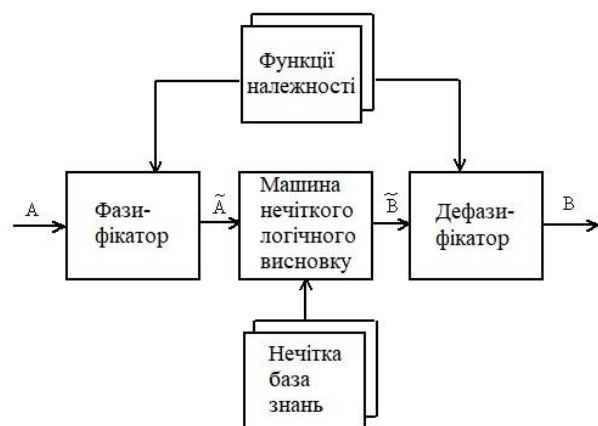


Рис. 1. Схема нечіткого логічного висновку

де A – вхідний чіткий вектор; \tilde{A} – вектор нечітких множин, що відповідає вхідному вектору A ; \tilde{B} – результат логічного виведення у вигляді вектора нечітких множин; B – вихідний чіткий вектор [3].

2 Розробка принципів керування переміщенням БПЛА

Фаззифікатор переводить простір входів, який звичайно описує простір в напрямку руху БПЛА, в нечіткий формат. Для опису простору в напрямку руху БПЛА використовуються вхідні сигнали датчиків. Простір в напрямку руху БПЛА поділено на п'ять секторів, в яких аналізується наявність перешкод та відстань до них. Тому введено три вхідні лінгвістичні змінні – дві для аналізу розташування перешкоди та одна для аналізу відстані до перешкоди.

Розробка системи керування переміщенням БПЛА для подолання перешкод включає наступні кроки.

Крок 1. Введення вхідної ЛЗ, що описує відстань до перешкоди («Відстань») та розбиває значення, що виражаються термами: «близько», «середня відстань», «далеко».

Крок 2. Введення вхідної ЛЗ, що описує розташування перешкод в горизонтальній площині («Горизонталь») та розбиває значення, що виражаються термами: «ліворуч», «попереду», «праворуч».

Крок 3. Введення вхідної ЛЗ, що описує розташування перешкод в вертикальній площині («Вертикаль») та розбиває значення, що виражаються термами: «зверху», «попереду», «знизу».

Крок 4. Побудова функцій належності термів ЛЗ «Відстань», «Горизонталь» та «Вертикаль». Кожне нечітке число представлено трикутними (1) або трапецієподібними (2) упорядкованими дійсними числами та задано функцією належності (рис. 2, 3):

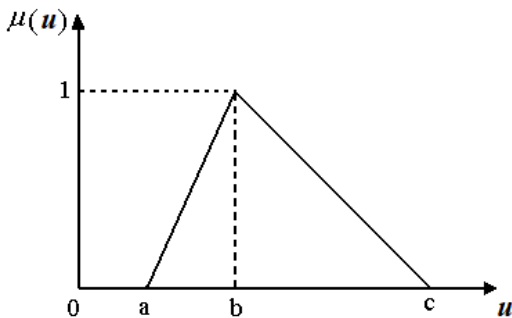


Рис. 2. Функція належності трикутного нечіткого числа

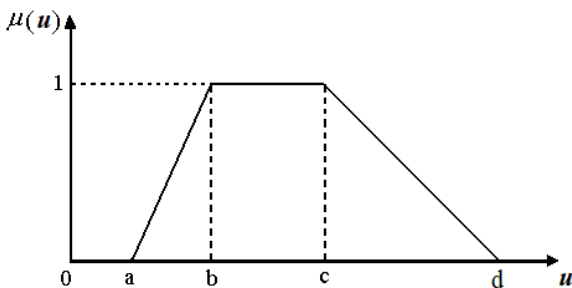


Рис. 3. Функція належності трапецієподібного нечіткого числа

$$\mu(u) = \begin{cases} 0, & u \leq a, u \geq c, \\ \frac{u-a}{b-a}, & a \leq u \leq b, \\ \frac{c-u}{c-b}, & b \leq u \leq c, \end{cases} \quad (1)$$

де $a \leq b \leq c$, (a, c) – носій нечіткого числа, b – мода нечіткого числа, u – елемент з множини U , $\mu(u)$ – функція належності [3],

$$\mu(u) = \begin{cases} 0, & u \leq a, u \geq d, \\ \frac{u-a}{b-a}, & a \leq u \leq b, \\ 1, & b \leq u \leq c, \\ \frac{d-u}{d-c}, & c \leq u \leq d, \end{cases} \quad (2)$$

де $a \leq b \leq c \leq d$, (a, d) – носій нечіткого числа, $[b, c]$ – ядро нечіткої множини.

Побудова функцій належності термів ЛЗ була здійснена в середовищі пакету Fuzzy Logic Toolbox, що є розширенням пакету MATLAB. Функція належності термів ЛЗ «Відстань», «Горизонталь» та «Вертикаль» показано на рис. 4-6 відповідно.

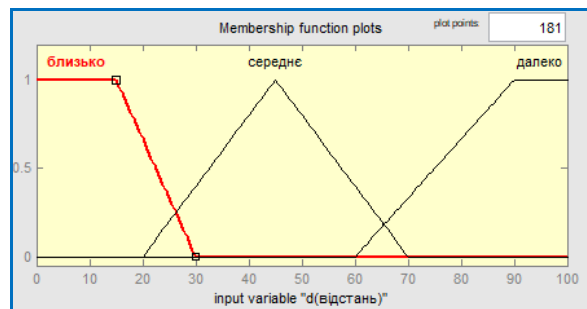


Рис. 4. Функція належності термів ЛЗ «Відстань»

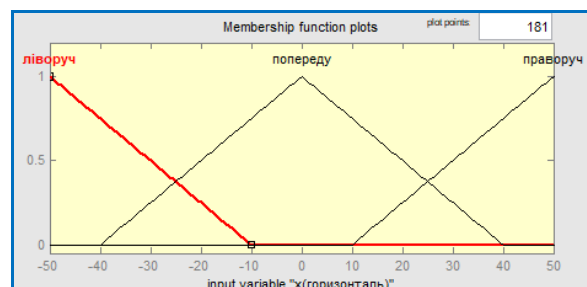


Рис. 5. Функція належності термів ЛЗ «Горизонталь»

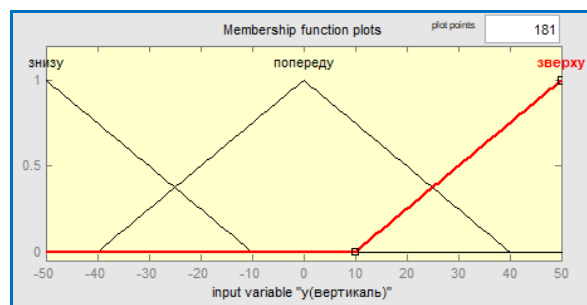


Рис. 6. Функція належності термів ЛЗ «Вертикаль»

Крок 5. Введення вихідної ЛЗ, що описує кут ризику БПЛА («Кут») та розбиває значення, що виражаються термами: «ліворуч», «на місці», «праворуч».

Крок 6. Введення вихідної ЛЗ, що описує швидкість руху БПЛА («Швидкість») та розбиває значення, що виражаються термами: «на місці», «повільно», «швидко».

Крок 7. Введення вихідної ЛЗ, що описує зміщення БПЛА по вертикалі («Висота») та розбиває значення, що виражаються термами: «вниз», «на місці», «вгору».

Крок 8. Побудова функцій належності термів ЛЗ «Кут» (рис. 7), «Швидкість» (рис. 8) та «Висота» (рис. 9).

Інтерфейс редактора FIS (Fuzzy Inference System Editor) для системи нечіткого виводу типу Мамдані зображено на рис. 10. На цьому ж рисунку показано параметри нечіткої моделі та метод дефазифікації.

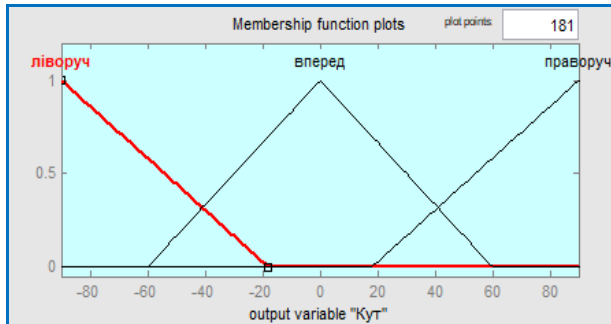


Рис. 7. Функція належності термів ЛЗ «Кут»

Крок 9. Складання нечітких продукційних правил виду: якщо «значення вхідних змінних», то «значення вихідних змінних» на основі логічного аналізу (рис. 11).

Крок 10. Перевірка та аналіз результатів розробленої нечіткої системи керування переміщенням безпілотного літального апарата для подолання перешкод.

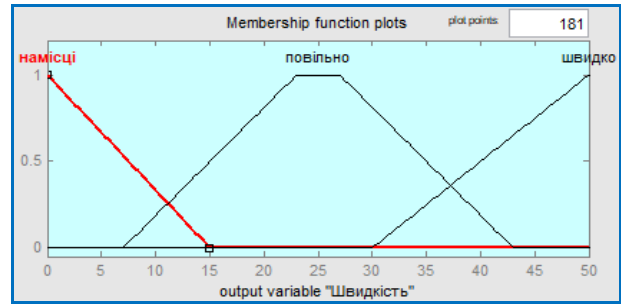


Рис. 8. Функція належності термів ЛЗ «Швидкість»

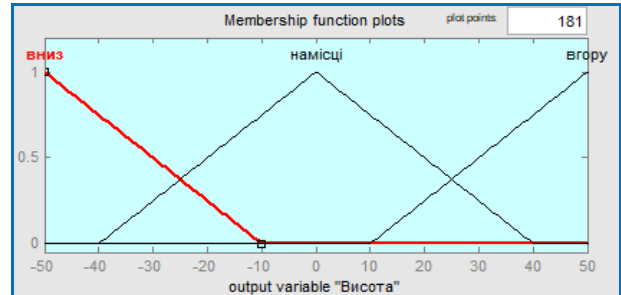


Рис. 9. Функція належності термів ЛЗ «Висота»

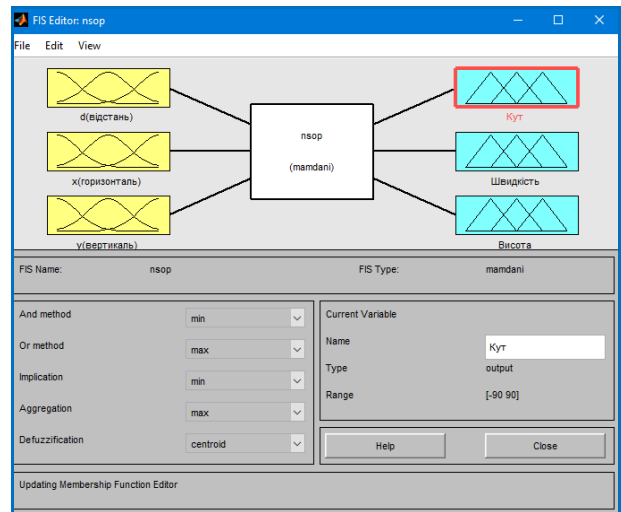


Рис. 10. Інтерфейс редактора FIS для системи нечіткого виводу

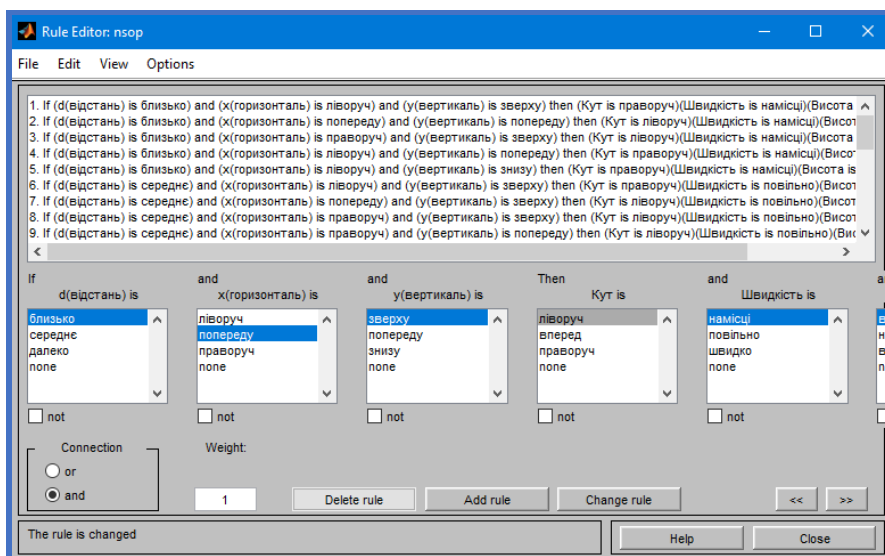


Рис. 11. Продукційні правила

3 Аналіз результатів створеної нечіткої системи

До складу пакету Fuzzy Logic Toolbox входить програма перегляду правил системи нечіткого виведення (Rule Viewer). Такий засіб перегляду правил виводу дає можливість проаналізувати результати створеної нечіткої системи. На рис. 12 показано головне вікно Rule Viewer. Воно складається з декількох графічних вікон, кількість рядків відповідають числу правил нечіткого висновку, а кількість стовп-

ців – числу вхідних і вихідних змінних, заданих в системі нечіткого висновку. Проаналізуємо різноманітні комбінації вхідних та вихідних змінних. Як видно з рис. 12, якщо перешкода розташована близько до БПЛА, ліворуч та знизу, то треба повернути праворуч, рухатися на невеликій швидкості та піднятися вище для обминання перешкоди. Як видно з рис. 13, якщо перешкода розташована далеко від БПЛА, праворуч та безпосередньо перед БПЛА, то треба повернути ліворуч, рухатися швидко та піднятися вище для обминання перешкоди.

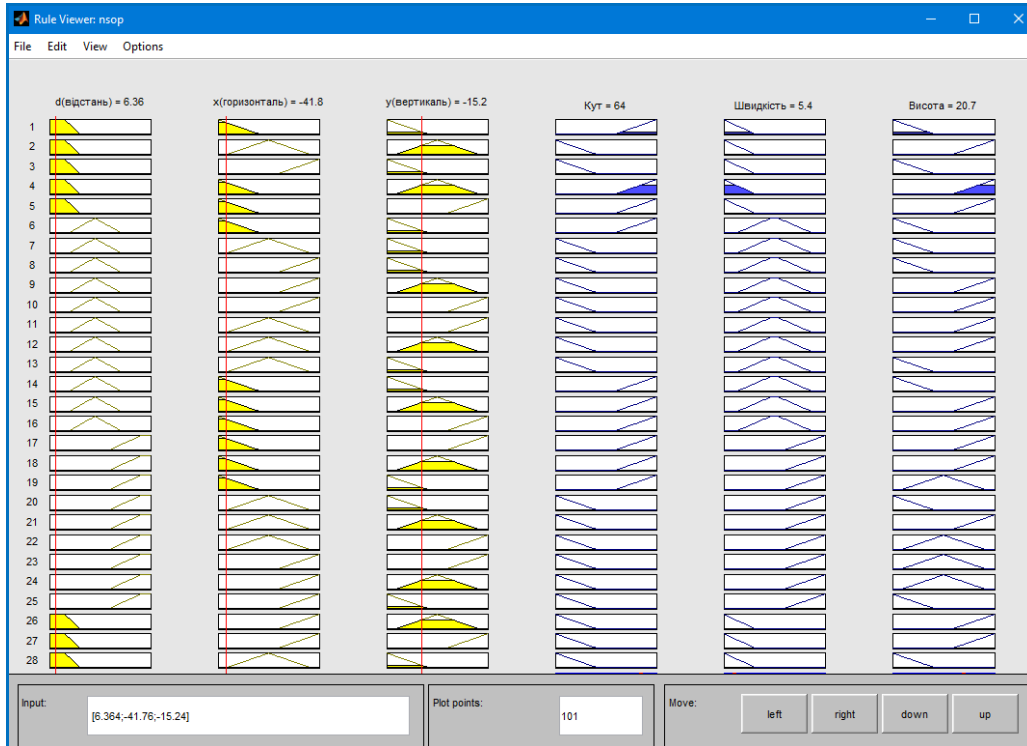


Рис. 12. Аналіз результатів при близько розташованій перешкоді

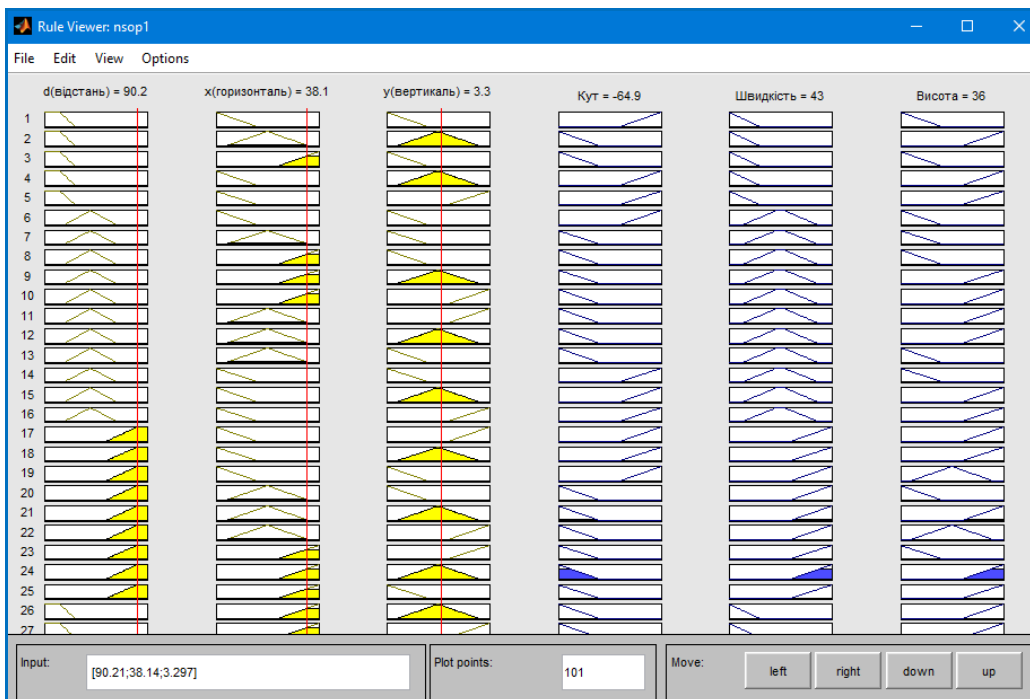


Рис. 13. Аналіз результатів при далеко розташованій перешкоді

Пакет Fuzzy Logic Toolbox дає можливість проаналізувати результати створеної нечіткої системи за допомогою програми перегляду поверхні системи нечіткого виведення (Surface Viewer). З рис. 14 видно, що чим менше відстань до перешкоди, тим менше швидкість та навпаки.

Таким чином, наведені на рисунках 12-14 результати говорять про адекватність розробленої нечіткої системи подолання перешкод для БПЛА.

Висновки

Розроблена у цій статті система запобігання зіткненню БПЛА з перешкодами на основі апарату нечіткої логіки відрізняється від відомих аналогів способом координації БПЛА, сукупністю керуючих правил.

Застосування апарату нечіткої логіки дозволяє успішно вирішувати завдання формування траєкторії руху БПЛА в залежності від розташування перешкоди та відстані до неї.

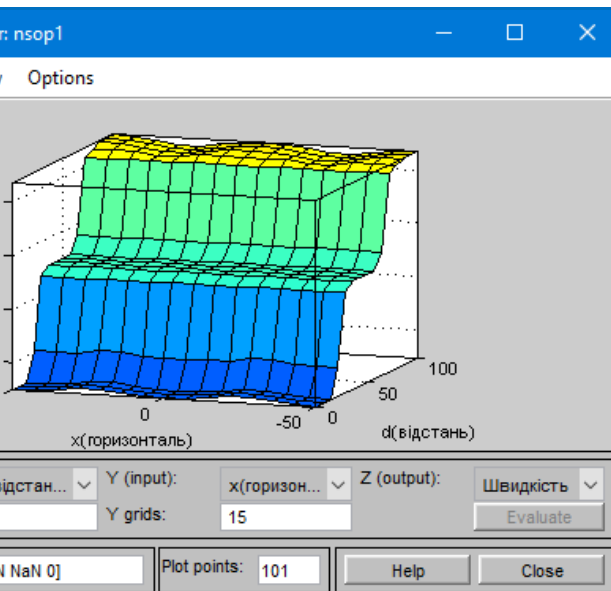


Рис. 14. Залежність швидкості від розташування перешкоди

Аналіз правил системи нечіткого виведення (Rule Viewer) та програми перегляду поверхні системи нечіткого виведення (Surface Viewer) свідчить про ефективність одержаних результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст]: пер. с англ. / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 168 с.
2. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст]: учеб. пособие / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов – М.: Издательство физико-математической литературы, 2001. – 224 с.
3. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С. Д. Штовба. – М.: Горячая линия - Телеком, 2007. – 288 с.
4. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями [Текст] / под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: Физматлит, 2015. – 304 с.

Received (Надійшла) 11.04.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Development of obstacle crossing system for unmanned aerial vehicle

Yulija Tolkunova

Abstract. Most existing unmanned aerial vehicles (UAV) are piloted using remote controls. However, when performing some works (geological, geodetic, rescue, exploration) there are restrictions related to the insufficient working range of the UAV. Therefore, there is a need for automatic control of the UAV. When automatically controlling the UAV, one of the tasks is to form the trajectory of the UAV, when performing geodetic, search and other works, including automatic maneuvering to bypass obstacles. In the absence of information on the exact location of obstacles, it is advisable to manage on the basis of fuzzy logic. The article presents a scheme of fuzzy inference. The set of values of fuzzy input linguistic variables (LV), output LV forms a fuzzy database, the set of rules of fuzzy products forms a fuzzy knowledge base. Each fuzzy number is represented by triangular or trapezoidal ordered real numbers and is given by the membership function. Input signals of sensors are used to describe the space in the direction of UAV movement. After bypassing the obstacle, the UAV can be navigated using GPS. The space in the direction of the UAV is divided into five sectors, which analyze the presence of obstacles and the distance to them. Three input linguistic variables were introduced - two for the analysis of the location of the obstacle (LV "Horizontal" and LV "Vertical") and one for the analysis of the distance to the obstacle (LV "Distance"). Regarding the output variables, depending on the location of the obstacle, the UAV will change the yaw angle, speed and height. Three source drugs were introduced - "Angle", "Speed" and "Height" and their membership functions were built. The base of fuzzy production rules of a kind is made: if "values of input variables", then "values of output variables". Mamdani fuzzy inference system is used. The Rule Viewer and the Surface Viewer Fuzzy Logic Toolbox analyzed the results of the fuzzy system. The approach developed in this article to prevent UAV collisions with obstacles based on the fuzzy logic apparatus differs from the known analogues in the way of UAV coordination, a set of control rules. The use of fuzzy logic allows you to successfully solve the problem of forming the trajectory of the UAV depending on the location of the obstacle and the distance to it.

Keywords: unmanned aerial vehicle, obstacle crossing system, linguistic variable, fuzzy logic.

Mahabbat Khudaverdiyeva

Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

MULTIPLICATIVE APPROXIMATION METHOD OF FUNCTIONAL DEPENDENCIES BY LINE SEGMENTS

Abstract. The article is devoted to the approximation problems of functional dependencies during conversions performed in intelligent measurement devices. Non-linearities are essential parts of most control processes and systems. When using a nonlinear transmitter with a conversion function in measurement information systems used in various fields, it is necessary to perform nonlinear functional conversion operations on numbers in microprocessors/microcontrollers during direct and indirect measurements. For this purpose, various approximation methods are used. The purpose of the approximation is to describe nonlinear functions in a simpler, more convenient way for utilization and calculations, with an insignificantly small loss of accuracy. Existing methods for linearization, although some of them are effective, can be burdensome for implementation in microprocessor-based systems. Here, one of the proposed methods for the approximation of nonlinear functional dependencies by line segments is proposed. In this method, the range of the argument changes in the function is divided into line segments, and the parts of the coordinate system bisector, remaining within the line segments of the function, is swapped to perform approximation. Having involved few simple mathematical operations, the proposed method can be implemented efficiently in microprocessors/microcontrollers to perform approximations in measurement systems.

Keywords: Linearization, Non-linear systems, approximation methods, multiplicative approximation method,

Introduction

In modern times, the development of measurement techniques is aimed at increasing their functional capabilities, improving metrological characteristics, and performing some intelligent functions that require mental activity.

Problem statement. When designing any measurement device, first of all, attention is paid to the requirements for its metrological characteristics.

Such metrological characteristics contain:

- accuracy,
- sensitivity,
- rigidity,
- obstacle resistance,
- dynamic range,
- reliability, etc.

In addition, in many cases, high requirements are expected for the linearity of the conversion characteristics (function) of measurement devices intended for use in information and measurement systems.

This is explained by the fact that the nonlinearity of the conversion characteristics of measurement devices is a cause of additional problems:

- presence of additional errors during the subsequent linear conversion of the measurement information;
- complexity of data processing algorithm;
- the complexity of presenting the input quantity value in its own measurement unit, etc.

On the other hand, since it is considered more relevant to present the measurement results in the unit of the input quantity, the measurement device must also perform the scaling operation.

In many practical cases, the conversion characteristics of measurement devices are nonlinear. There can be several reasons for this:

- nonlinearities due to the physical principles underlying the construction of measurement devices;
- non-linearity owing to imperfection in the design or technology of measurement device manufacturing process;
- nonlinearities depending on the nature of the measurement methods;
- nonlinearities arising from the aggregation of several of these reasons.

Nonlinearity of the transformation characteristic of a measurement device means its deviation from the linear characteristic of the real transformation characteristic.

In the direction of the effective organization of the measurement process and the implementation of some issues that need to be addressed by the program on the structure and programs developed by humans, as a result, led to the emergence of intelligent measurement methods and devices.

Purpose. The aim of the work is to formulate a method through which a linearization process can be implemented with high accuracy and less computational power to enable it suitable in microprocessor/microcontroller applications.

Analysis of recent research and publications

Intelligent measurement devices are measuring devices in which hardware and software components operate together.

A large number of studies on the transformation process have been carried out in the past, including:

- near-optimal nonlinear regression [1],
 - nonlinearly Preconditioned FETI Solver for Substructured Formulation [2],
 - using piecewise linear functions [3-7].
- Piecewise approximation techniques have a

significant role in many fields of engineering and mathematics [8-10].

Linear programming techniques are also used in optimization problems

In general, the main methods of linearization of the conversion characteristics of measuring instruments are:

- - technological methods;
- - construction methods;
- - structural methods;
- - structural-algorithmic methods;
- - Algorithmic methods.

Technological methods include the preparation of individual elements and junctions of measuring instruments from special materials, stabilization of their mode of operation and conditions, etc. is carried out with technological limitations.

Construction methods are performed by making appropriate changes in the design of the measuring instrument or its constituent elements.

In this case, determining and implementing the optimal design is not an easy task. On the other hand, both methods require an individual approach to each measurement tool.

In the modern era, when microprocessors and microcontrollers are widespread and inexpensive, there are more opportunities for structural, structural-algorithmic and algorithmic methods.

When using structural methods, it is necessary to include additional functional blocks in the structure of the measuring instrument created to improve its metrological characteristics, as well as to linearize the conversion characteristics, and to organize the information conversion channel accordingly. Examples of structural methods are compensation methods.

In addition to the measures of the structural method in the structural-algorithmic method, certain control, calculation, etc. are also performed by the microprocessor computing devices included in the measuring instrument. algorithms are executed. This method includes additional equation methods and iteration methods.

Algorithmic methods do not involve the inclusion of any additional functional block or element in the structure of the measuring instrument and are based only on the processing of information from the measuring instrument by certain algorithms by a microprocessor computing device within the system [11-20].

Of the linearization methods of the conversion characteristics of measuring instruments, only algorithmic linearization methods meet the following modern requirements [19]:

- can be applied to linearization of various forms of nonlinear characteristics;
- the effectiveness of the method does not depend on the degree of deviation of the nonlinear characteristics of the measuring instrument from the linear characteristics;
- can be used for measuring a wide range of electrical quantities, especially non-electrical quantities;
- ensuring the accuracy of the given line with minimal costs;

- no need to use high-precision sample measurements of electrical and non-electrical quantities;
- there is no need to separate the measured quantities from their input in order to linearize the conversion characteristics of the measuring instruments;
- structure, principle of construction, construction, production technology, etc. of functional blocks operating in the system.

Solve the problem of linearization without interference, using only algorithms for processing measurement information in modern microprocessor computing devices.

Approximation methods of functional dependencies with corrective adjustments are based on the methodology of solving problems of linearization and correction of integral errors.

The range of the argument changes in the function is divided into line segments, and the parts of the coordinate system bisector, remaining within the line segments of the function, is swapped to perform approximation to $f(x)$.

Multiplicative Linearization

Depending on the mathematical operations used to perform the shifting, these methods are called:

- additive (A),
- multiplicative (M),
- combinatorial (K),
- additive-multiplicative (A-M)

approximation methods.

The article is devoted to the method of multiplicative approximation.

In the multiplicative approximation method of nonlinear functional dependencies, the function $f(x)$ is replaced by straight line segments approximating this function graph by rotating the ordinates of the linear

$$y = x$$

coordinate system bisector parts with the correcting coefficients.

Fig. 1 illustrates the i -th parts of the function $\varphi(x)$, which approximates the nonlinear function $f(x)$ by a multiplicative method.

Here A_1 is a multiplicative coefficient that rotates the i -th part of the bisector to the function $f(x)$ and

$$\varepsilon_{i-1} = \varepsilon_i$$

are deviations of the functions $\varphi_i(x)$ and $f(x)$ on the boundaries of x_{i-1} and x_i .

The function $\varphi_i(x)$ that approximates the nonlinear function $f(x)$ in the i -th section $\varphi_i(x)$ is expressed with the following equation:

$$\begin{aligned} \varphi_i(x) &= M_i \cdot x; & (1) \\ \text{if } f(x) > x, & \text{ then } M_i > 1; \\ \text{if } f(x) < x & \text{ then } M_i < 1. \end{aligned}$$

The boundary values of these parts x_i are defined with the multiplicative coefficients M_i within these parts, and boundary deviation values ε_i having constant values and opposite signs.

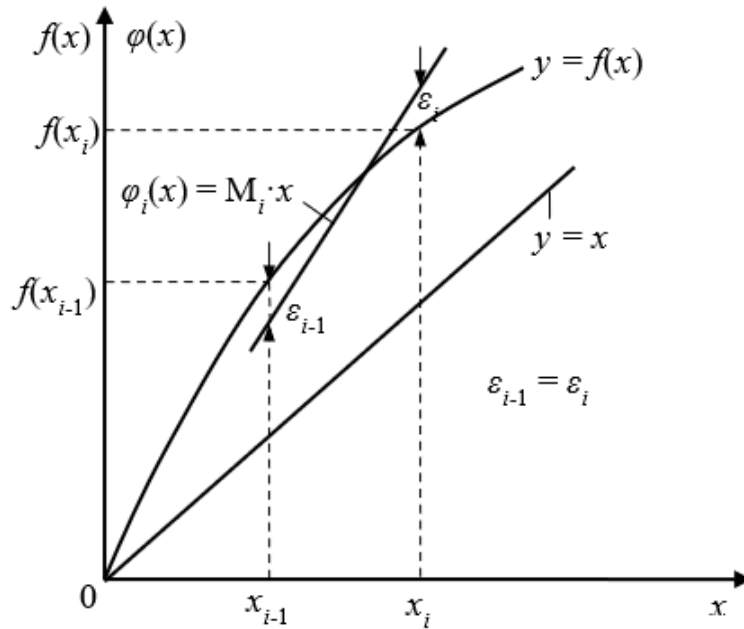


Fig. 1. Multiplicative approximation method by line segments

$$x_i = x_{i-1} [f(x_i) \pm \varepsilon] / [f(x_{i-1})] \mp \varepsilon; \quad (2)$$

$$M_i = [f(x_{i-1}) + f(x_i)] / (x_{i-1} + x_i); \quad (3)$$

$$\varepsilon_i = \pm 0.5 \cdot [M \Delta x_i - \Delta f(x_i)]; \quad (4)$$

where:

$$\Delta f(x_i) = f(x_i) - f(x_{i-1}); \Delta x_i = x_i - x_{i-1}; \quad (5)$$

$f(x_{i-1})$ and $f(x_i)$ – i -th part lower and upper boundaries $f(x_i) < 0$ (upward convexity),

It is obvious that the relative positioning of function $f(x)$ with the $y=x$, does not make changes in their corresponding expressions. Analysis of equation (3) shows

that if $\Delta f(x_i) = \Delta x_i$, then $\varepsilon_i \neq 0$.

Therefore, the following equation can be constructed:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= \pm 0.5 \cdot [M_i \cdot \Delta x_i - \Delta x_i] = \\ &= \pm 0.5 \cdot \Delta x_i \cdot (M_i - 1). \end{aligned} \quad (6)$$

The main property of this method is that, in the line segments with the multiplicative coefficient of $M_i \neq 1$, linear characteristics is approximated to $f(x)$.

However, in the line segments with the condition of $\Delta f(x_i) = M_i \cdot \Delta x_i$, the deviation could be zero, $\varepsilon_i = 0$. Therefore, the error of this method does not exist in line segments with $\Delta f(x_i) = \Delta x_i$, but can receive minimal values in line segments with $\Delta f(x_i) \neq \Delta x_i$.

Fig. 2 illustrates realization of multiplicative linearization method by line segments.

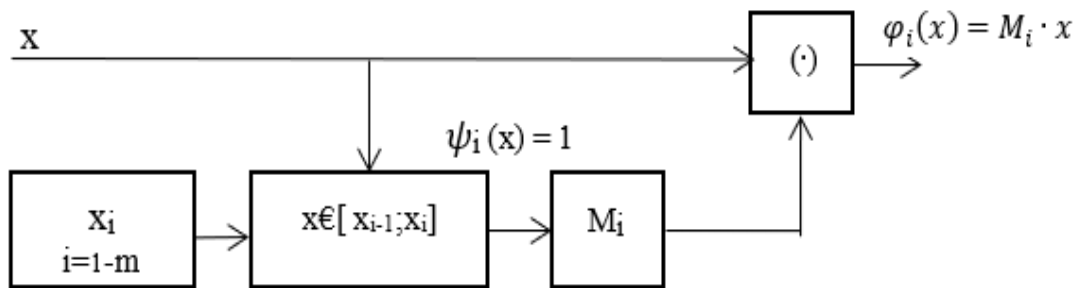


Fig. 2. Realization scheme of multiplicative method with line segments

Conclusions

A method through which a linearization process can be implemented with high accuracy and less computational power to enable it suitable in microprocessor/microcontroller applications is proposed. In the method, the boundary values within dynamic range of argument and constant multiplicative coefficient values within these line segments are stored in memory. The

current argument boundary value x and its inclusion interval are defined to determine multiplicative coefficient, after which is multiplied by argument x . As a result, the value of $\varphi_i(x) = M_i \cdot x$ is calculated within line segments of argument.

To sum up, in the proposed method non-linear functional dependencies are just approximated using line segments few comparison and one multiplication operations.

REFERENCES

1. Bertsimas, D.; Dunn, J.; Wang, Y. Near-optimal nonlinear regression trees. *Oper. Res. Lett.* 2021, 49, 201–2
2. Negrello, C.; Gosselet, P.; Rey, C. Nonlinearly Preconditioned FETI Solver for Substructured Formulations of Nonlinear Problems. *Mathematics* 2021, 9, 31
3. Petridis, K.; Drogalas, G.; Zografidou, E. Internal auditor selection using a TOPSIS/non-linear programming model. *Ann. Oper. Res.* 2021, 296, 513–5
4. Gajjar, H.K.; Adil, G.K. A piecewise linearization for retail shelf space allocation problem and a local search heuristic. *Ann. Oper. Res.* 2010, 179, 149–167.
5. Geißler, B.; Martin, A.; Morsi, A.; Schewe, L. Using piecewise linear functions for solving MINLPs. In *Mixed Integer Nonlinear Programming*; Lee, J., Leyffer, S., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2012; Volume 154, pp. 287–
6. Andrade-Pineda, J.L.; Canca, D.; Gonzalez-R, P.L. On modelling non-linear quantity discounts in a supplier selection problem by mixed linear integer optimization. *Ann. Oper. Res.* 2017, 258, 301–346.
7. Stefanello, F.; Buriol, L.S.; Hirsch, M.J.; Pardalos, P.M.; Querido, T.; Resende, M.G.C.; Ritt, M. On the minimization of traffic congestion in road networks with tolls. *Ann. Oper. Res.* 2017, 249, 119–139.
8. Sridhar, S.; Linderth, J.; Luedtke, J. Locally ideal formulations for piecewise linear functions with indicator variables. *Oper. Res. Lett.* 2013, 41, 627–632.
9. Dulebenets, M.A. Advantages and disadvantages from enforcing emission restrictions within emission control areas. *Marit. Bus. Rev.* 2016, 1, 107–132
10. Pasha, J.; Dulebenets, M.A.; Kavooosi, M.; Abioye, O.F.; Theophilus, O.; Wang, H.; Kampmann, R.; Guo, W. Holistic tactical-level planning in liner shipping: An exact optimization approach. *J. Shipp. Trade* 2020, 5,
11. Dulebenets, M.A. A comprehensive multi-objective optimization model for the vessel scheduling problem in liner shipping. *Int. J. Prod. Econ.* 2018, 196, 293–3
12. Meyer, R.R.A. Theoretical and computational comparison of ‘Equivalent’ mixed-integer formulations. *Nav. Res. Logist.* 1981, 28, 115–131.
13. Williams, H.P. *Model Building in Mathematical Programming*, 5th ed.; WILEY: Hoboken, NJ, USA, 2013.
13. Vielma, J.P.; Ahmed, S.; Nemhauser, G. A note on a superior representation method for piecewise linear functions. *INFORMS J. Comput.* 2010, 22, 493–497.
14. Imamoto, A.; Tang, B. Optimal piecewise linear approximation of convex functions. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, CA, USA, 22–24 October 2008*; pp. 1191–1194.
15. Ahmadi, H.; Martí, J.R.; Moshref, A. Piecewise linear approximation of generators cost functions using max-affine functions. In *Proceedings of the 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Vancouver, BC, Canada, 21–25 July 2013*; pp. 1–5.
16. Vielma, J.P.; Ahmed, S.; Nemhauser, G. A note on a superior representation method for piecewise linear functions. *INFORMS J. Comput.* 2010, 22, 493–497.
17. Bisschop, J. AIMMS Optimization Modeling. 2021. Available online: https://documentation.aimms.com/aimms_modeling.html (accessed on 25 February 2021).
18. Guignard, M. Strong RLT1 bounds from decomposable Lagrangean relaxation for some quadratic 0–1 optimization problems with linear constraints. *Ann. Oper. Res.* 2020, 286, 173–2
19. Pauer, G.; Török, Á. Binary integer modeling of the traffic flow optimization problem, in the case of an autonomous transportation system. *Oper. Res. Lett.* 2021, 49, 136–1
20. Negrello, C.; Gosselet, P.; Rey, C. Nonlinearly Preconditioned TI Solver for Substructured Formulations of Nonlinear Problems. *Mathematics* 2021, 9, 3165

Received (Надійшла) 21.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

**Метод мультиплікативної апроксимації функціональних залежностей
відрізками лінії**

Худавердієва Махаббат

Анотація. Стаття присвячена завданням апроксимації функціональних залежностей при перетвореннях, що виконуються в інтелектуальних вимірювальних пристроях. Нелінійності є невід’ємною частиною більшості процесів та систем управління. При використанні нелінійного перетворювача з функцією перетворення у вимірювальних інформаційних системах, що застосовуються в різних областях, необхідно виконувати операції нелінійного функціонального перетворення над числами мікропроцесорів/мікроконтролерів при прямих і непрямих вимірюваннях. Для цього використовуються різні методи апроксимації. Мета апроксимації полягає в тому, щоб описати нелінійні функції більш простим, зручним для використання та розрахунків способом із мізерно малою втратою точності. Існуючі методи лінеаризації, хоча деякі з них ефективні, можуть бути обтяжливими для реалізації в мікропроцесорних системах. Тут пропонується один із запропонованих методів апроксимації нелінійних функціональних залежностей відрізками прямих. У цьому методі діапазон зміни аргументу функції розбивається на відрізки прямих, а частини бісектриси системи координат, що залишилися в межах відрізків прямих функцій, переставляють місцями для виконання апроксимації. Задіявши кілька простих математичних операцій, запропонований метод може бути ефективно реалізований у мікропроцесорах/мікроконтролерах для виконання апроксимацій у вимірювальних системах.

Ключові слова: лінеаризація, нелінійні системи, методи апроксимації, метод мультиплікативної апроксимації.

І. О. Васильєв, В. С. Харченко

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

ФРЕЙМВОРК ДЛЯ МЕТРИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ЯКОСТІ

Анотація. **Мотивація.** На сьогодні вкрай важливо розуміти, чи можна довіряти системам, що базуються на використанні штучного інтелекту (СШІ). Велика кількість сучасних СШІ побудовано за принципом «чорної скриньки», тобто незрозуміло, яким чином вони працюють, а тільки є результати роботи. Також потрібні засоби для порівняння декількох СШІ. У випадку, коли декілька варіантів ШІ конкурують щодо використання у деякій системі, потрібно визначити кращий. **Метою дослідження** є розроблення модель-базованого фреймворку для оцінювання якості СШІ з використанням метрик і методу візуалізації результатів. **Етапи дослідження.** В статті аналізуються моделі якості СШІ, метрики і види згорток для її оцінювання, пропонується метод оцінювання та візуалізації результатів і приклад використання методу. **Висновки.** Для оцінювання СШІ використано базові моделі якості, об'єднані у чотирьохрівневу ієрархію. Для цих характеристик визначено правила формування метрик і метод розрахунку якості з використанням згорток та візуалізації проміжних і кінцевих результатів за допомогою радіальних метричних діаграм. Відповідні моделі якості, метрики і методи оцінювання і візуалізації утворюють фреймворк для автоматизації процесів, який реалізується з використанням розробленого інструментального засобу. Цей засіб дозволяє користувачу створювати модель якості, встановлювати метрики якості, вводити значення показників метрик. Потім на основі цих показників розраховується узагальнена метрика якості системи та візуалізується за допомогою РМД. Засіб є десктопним застосунком, створеним на платформі .Net Framework. **Напрямок подальших досліджень.** Майбутні кроки можуть бути присвячені розвитку моделі та інструментарію оцінювання якості для різних доменів з урахуванням аспектів еволюції якості.

Ключові слова: система штучного інтелекту, оцінювання якості, метрики оцінювання, візуалізація, фреймворк.

Вступ

Мотивація. В останній час розробляються і впроваджуються різні засоби штучного інтелекту (ШІ), що виконують відносно прості, на перший погляд, завдання, які займали багато часу та зусиль у минулому, зокрема, оброблення багаторозмірних зображень та відео, анімації статичних зображень, розпізнавання облич, розроблення чат-ботів та інші. Активно досліджуються і створюються засоби ШІ для більш складних задач, а саме, встановлення хвороби пацієнта на основі симптомів, розроблення асистентів для пілотів літака, виявлення зловмисників тощо [1, 2].

Вкрай важливо розуміти, чи можна довіряти системам, що базуються на використанні штучного інтелекту (СШІ). Велика кількість сучасних СШІ побудовано за принципом «чорної скриньки», тобто незрозуміло, яким чином вони працюють, а тільки є результати роботи. Важко перевірити, яким чином ШІ приймає рішення, чи є вони взагалі вірним або помилковим. Також потрібні засоби для порівняння декількох СШІ. У випадку, коли декілька варіантів ШІ конкурують щодо використання у деякій системі, потрібно визначити кращий.

Аналіз публікацій. Модель якості СШІ може бути представлено у вигляді графу типу «дерево», що надає упорядковану ієрархію характеристик [3]. Вона будується за аналогією з моделями якості програмного забезпечення [4-6]. Характеристики відібрано на підставі аналізу документів [6-10], гармонізації їх визначень та пошуку залежностей відповідно до [3].

Ці складові можуть далі розділитися на свої субхарактеристики. У кожній складній характерис-

тики повинно бути щонайменше дві субхарактеристики. Отже, використані в даному дослідженні моделі базуються на результатах роботи [3], яка була апробована для побудови моделей якості СШІ, описаних в [11, 12].

Метою дослідження є розроблення модель-базованого фреймворку для оцінювання якості СШІ з використанням метрик і методу візуалізації результатів. Відповідно до мети в статті аналізуються моделі якості СШІ (розділ 1), метрики і види згорток для її оцінювання (розділ 2), пропонується метод оцінювання якості та візуалізації результатів (розділ 3) і приклад використання методу (розділ 4). У висновках аналізуються основні результати дослідження та розроблення відповідного інструментального засобу, а також описуються наступні кроки, спрямовані на розвиток моделей і методів для різних сфер застосування СШІ.

1. Моделі якості СШІ

Загальна структура моделі. В основі моделі (рис. 1) лежить оцінка загальної якості системи (artificial intelligence system, AIS).

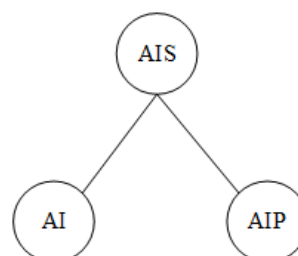


Рис. 1. Модель якості СШІ

Вона розділяється на два складових [3]:

– платформа ШІ (artificial intelligence platform, AIP) – середовище, у якому працює штучний інтелект. Вона відповідає за взаємодію з користувачем, управління штучним інтелектом, передачу йому даних та оброблення результатів. Платформа являє собою звичайну програму, написану людиною. Це може бути додаток на ПК, або хмарний сервіс. Через це, загалом, вимоги до платформи співпадають з вимогами до звичайних програм;

– модель ШІ (artificial intelligence, AI) – навчений штучний інтелект, що приймає деякі дані на вході, да формує результати обчислень або керуючі впливи (прийняті рішення) на виході.

Модель якості платформи ШІ (рис. 2) включає такі характеристики [3,6,7]:

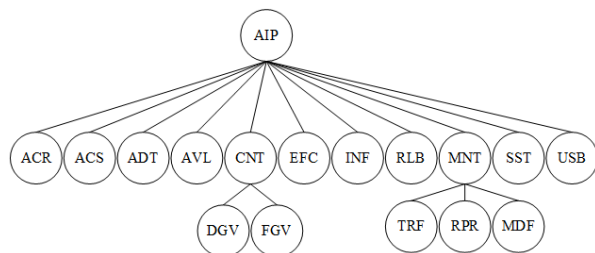


Рис. 2. Платформа ШІ

- доступність (accessibility, ACS);
- точність (accuracy, ACR);
- аудитопритатність (auditability, ADT);
- готовність (availability, AVL);
- керованість (controllability, CNT) – що включає керування даними (data governance, DGV) та керування функціями (function governance, FGV);
- ефективність (effectiveness, EFC);
- інформативність (informativeness, INF);
- надійність (reliability, RLB);
- обслуговуваність (maintainability, MNT) – що включає переносимість (transferability, TRF), ремонтпритатність (repairability, RPR) та модифікованість (modifiability, MDF);
- сталість (sustainability, SST);
- зручність (usability, USB).

Модель якості ШІ (рис. 3) включає п'ять важливих характеристик [3, 6, 7]:

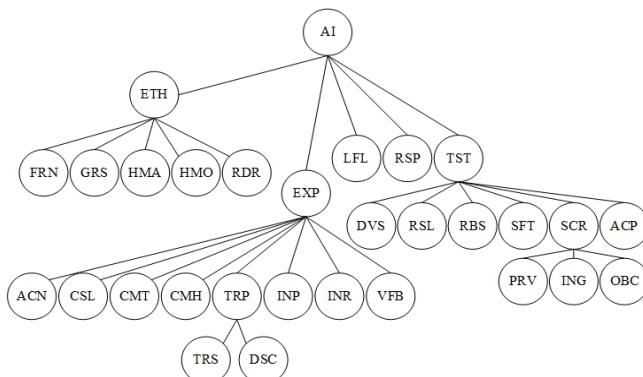


Рис. 3. Модель ШІ

- етичність (ethics, ETH) – здатність ШІ відповідати діючим нормам моралі за результатами

функціонування. Вона має субхарактеристики: справедливість (fairness, FRN), сприйнятливість (graspability, GRS), людський нагляд (human oversight, HMO) та відшкодовуваність (redress, RDR);

– пояснюваність (explainability, EXP) – здатність ШІ бути зрозумілим і передбачуваним з точки зору призначення та поведінки. Вона включає субхарактеристики: відстежуваність (accountability, ACN), причинність (causality, CSL), завершеність (completeness, CMT), зрозумілість (comprehensibility, CMH), прозорість (transparency, TRP), простежуваність (traceability, TRC), описуваність (descriptiveness, DSC), інтерпретабельність (interpretability, INP), інтерактивність (interactivity, INR), верифікованість (verifiability, VFB);

– законність (lawfulness, LFL) – здатність ШІ відповідати законодавчим і нормативно-правовим актам;

– відповідальність (responsibility, RSP) – здатність ШІ функціонувати з урахуванням очікувань замовника (користувача) у відповідності до етичних норм, законодавчих нормативно-правових актів, а також інформувати його при їх порушенні;

– довірчоздатність (trustworthiness, TST) – здатність ШІ, яка характеризується ступенем впевненості користувача або іншої зацікавленої особи (розробника, аудитора тощо) в тому, що ШІ відповідає вимогам і виконує функції у передбачуваний спосіб. Вона складається з субхарактеристик: диверсність (diversity, DVS), резильєнтність (resiliency, RSL), робастність (Robustness, RBS), функційна безпечність (safety, SFT), захищеність (інформаційна/кібербезпека) (security, SCR), приватність (privacy, PRV), цілісність (integrity, ING), об'єктивність (objectivity, OBC), прийнятність (acceptability, ACP).

3. Метрики для оцінювання якості СШІ

Метрики якості. Для розрахунку значень характеристик у моделі використовуються різні метрики. Кожна характеристика нижнього рівня повинна мати хоча б одну метрику. Ці метрики встановлюються в залежності від конкретного типу СШІ, вимог до системи, особливостей її розробки тощо. Результатами розрахунку метрик є показник характеристики, який може бути [5]:

- метричний (абсолютний або відносний);
- порядковий (рівневий);
- номінальний (виконується повністю, частково або зовсім не виконується).

Оскільки декілька показників можуть мати різні типи (кількісні та якісні), необхідний спосіб переведення одних показників в інші. Для цього їх потрібно нормалізувати та привести до єдиної шкали від 0 до 1. Для нормалізації метричних показників можна використовувати формулу 1.

$$p = \frac{m - m_{min}}{m_{max} - m_{min}}, \quad (1)$$

де p – нормалізоване значення показника; m – оцінене значення показника; m_{max} – максимальне значення показника (або значення при якому вважається що система повністю відповідає характеристиці);

m_{min} – мінімальне значення показника (або значення, при якому вважається, що система повністю не відповідає вимогам до характеристики).

Для якісних показників кожне з можливих значень шкали відповідає певному метричному значенню, граничні значення повинні дорівнювати 0 і 1. Розподілення між шкалою необов'язково має бути пропорційним. Приклад нормалізації якісної шкали зображено в табл. 1.

Таблиця 1 – Нормалізація порядкової шкали

Вихідна порядкова шкала	Нормалізоване значення
Не відповідає	0
Відповідає частково	0,33
Відповідає повністю	1

Оскільки одні характеристики можуть бути більш важливими, ніж інші, вводяться вагові коефіцієнти, які змінюються від 0 до 1.

Вони визначають, наскільки ця субхарактеристика є важливою та яку частину вона складає у характеристиці вищого рівня. Сума вагових коефіцієнтів субхарактеристик однієї характеристики завжди має дорівнювати одиниці.

Згортки. Для характеристик проміжних рівнів та якості в цілому виконується операція згортки. Вона полягає у розрахунку якості характеристики на основі значень метрик її субхарактеристик. Ця операція може мати декілька варіантів реалізації, як це визначено в [5] для оцінки якості ПЗ:

- адитивна згортка;
- згортка на основі нечітких операцій;
- предикативна згортка;
- булева згортка;
- комбінована згортка.

Адитивна згортка полягає у сумі зважених нормалізованих показників усіх субхарактеристик:

$$P = \sum_{i=1}^n w_i p_i, \quad (2)$$

де P – значення показника характеристики; n – кількість субхарактеристик характеристики; w_i – ваговий коефіцієнт i -ої субхарактеристики; p_i – значення показника i -ої субхарактеристики.

Згортка на основі нечітких операцій полягає у формуванні правил розрахунку значення показника характеристики. Такі правила можуть бути будь-якими, головне, щоб у результаті був отриманий нормалізований показник.

У предикативній згортці для пошуку значення показника формується набір предикатів – логічних правил, за якими він визначається.

У булевій згортці значення усіх показників мають набувати булевих значень, тобто 0 або 1. Значення показника характеристики виконується за певною булевою функцією, та набуває значення 0 – не відповідає, або 1 – відповідає.

У комбінованій згортці використовуються декілька згаданих методів – це необхідно, якщо у субхарактеристиках задіяні різні види показників, як порядкових, так і метричних. Тоді має виконуватися окрема згортка показників кожного типу, щоб отримати кінцеве значення інтегрованого показника.

4. Метод оцінювання та візуалізації результатів

Радіальні метричні діаграми. Для візуалізації моделі використовуються радіальні метричні діаграми (РМД) [5]. Загальна схема такої діаграми зображена на рис. 4.

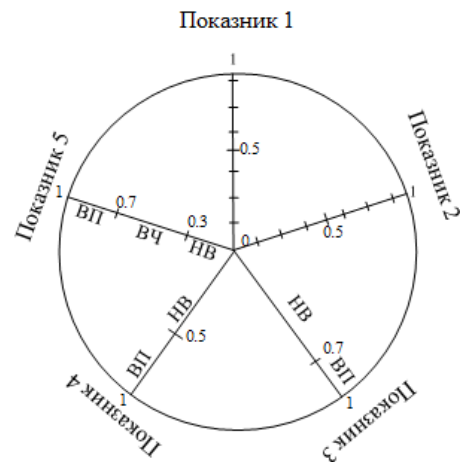


Рис. 4. Схема РМД

Центральна точка діаграми є точкою відліку показників. Для кожної з субхарактеристик проводиться вісь з цієї точки. На цьому промені встановлюється шкала оцінювання, в залежності від типу показника. На рис. 4 показники 1 та 2 показують приклад метричних показників («відповідає», «не відповідає»), 3 та 4 – приклад двозначного показника («відповідає», «відповідає частково», «не відповідає»), 5 – тризначного показника («відповідає», «відповідає частково», «не відповідає»).

Під час оцінки, на шкалі позначається поточне значення показника. Потім усі сусідні позначені точки об'єднуються лініями та отримана фігура замальовується. Така діаграма дозволяє наочно показати рівень оцінки характеристики. Чим більше площа отриманої фігури, тим вище рівень якості. Також одразу видно, які з субхарактеристик не відповідають потребам якості.

Послідовність оцінювання. Оцінювання за допомогою моделі якості виконується у наступні кроки:

- 1) встановити характеристики, які будуть оцінюватися, з урахуванням стандартів галузі роботи СШІ, вимог до системи тощо;
- 2) визначити ступінь впливу цих характеристик на якість системи, та встановити вагові коефіцієнти для усіх характеристик;
- 3) встановити метрики для оцінювання усіх характеристик нижніх рівнів, та задати їх мінімальне та максимальне значення, за якими вони набувають значень 0 та 1 відповідно;
- 4) обрати тип згортки для розрахунку значень характеристик вищих рівнів;
- 5) розрахувати значення показників нижчих рівнів за встановленими метриками;
- 6) за встановленими методами згортки, розрахувати інші характеристики;
- 7) візуалізувати необхідні характеристики за допомогою РМД.

4. Приклад оцінювання якості СШ

При оцінюванні моделі ШІ для автопілота автомобіля [13] були відібрані характеристики, для яких

відповідні вершини маркуються світлим кольором на рис. 5.

Для оцінювання довірчоздатності експертним шляхом встановлено вагові коефіцієнти (табл. 2).

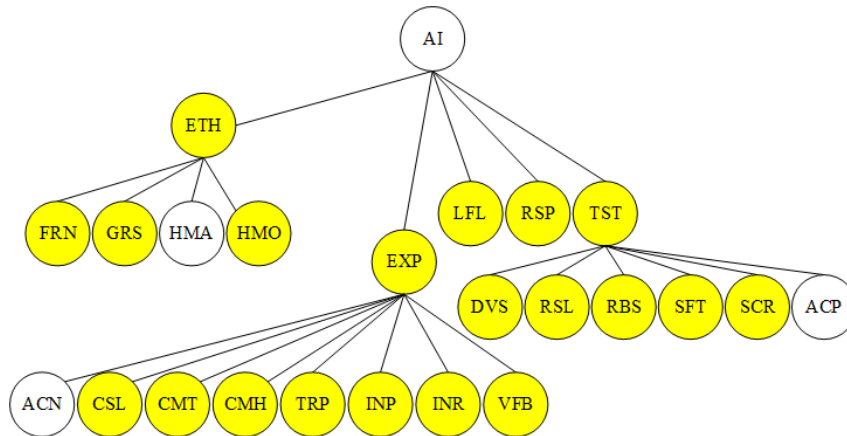


Рис. 5. Модель ШІ автопілота

Таблиця 2 – Розрахунок оцінки довірчоздатності

Довірчоздатність		
Субхарактеристика	Ваговий коефіцієнт	Значення показника
Диверсність	0,1	0,7
Резильєнтність	0,2	0,9
Робастність	0,2	0,9
Функційна безпечність	0,3	0,95
Інформаційна захищеність	0,2	0,8
Значення довірчоздатності		0,875

Потім визначено як приклад фіксовані значення метрик субхарактеристик. Ці значення можуть бути обраховано шляхом обчислення відношення кількості успішних тестів (або кількості вимог, які виконано) для відповідної субхарактеристики до їх загальної кількості.

Тести і вимоги можуть, залежно від їх важливості, також бути зваженими, що підвищує точність метрик.

За допомогою адитивної згортки (3) розраховується показник довірчоздатності. На цій підставі розробляється РМД, для відображення рівня довірчоздатності СШІ (рис. 6).

Її значення визначає відповідну складову для РМД якості ШІ в цілому (рис. 7).

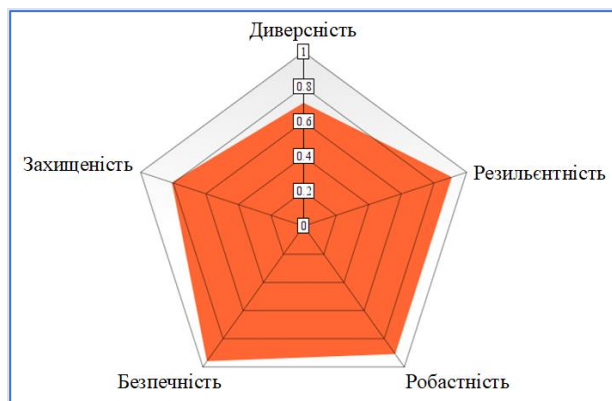


Рис. 6. РМД довірчоздатності

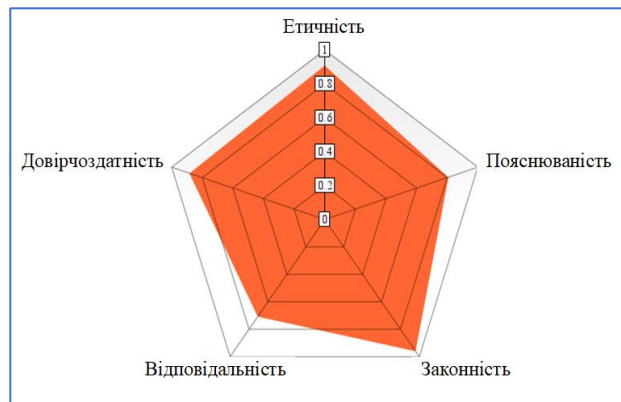


Рис. 7. РМД моделі ШІ

Висновки

Результати. Для оцінювання СШІ використано базові моделі якості, запропоновані в [3] і об'єднані у чотирьохрівневу ієрархію.

Для цих характеристик визначено правила формування метрик і метод розрахунку якості з використанням згорток та візуалізації проміжних і кінцевих результатів за допомогою радіальних метричних діаграм.

Відповідні моделі якості, метрики і методи оцінювання і візуалізації утворюють фреймворк для автоматизації процесів, який реалізується з використанням розробленого інструментального засобу.

Цей засіб дозволяє користувачу створювати моделі якості СШІ (або використовувати запропоновану

в [3] і адаптовану у цій статті), встановлювати метрики якості, вводити значення показників метрик. Потім на основі цих показників розраховується узагальнена метрика якості системи та візуалізується за допомогою РМД. Засіб є десктопним застосунком, створеним на платформі .Net Framework.

Майбутні кроки можуть бути присвячено розвитку моделі та інструментарію (метрик, методик і засобів) оцінювання якості для різних доменів (оброна, медицина, юриспруденція, інтерактивне мистецтво тощо) з урахуванням аспектів еволюції якості [14].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Trustworthy AI [Text] / R. Chatila, V. Dignum, M. Fisher, F. Giannotti, K. Morik, S. Russell, K. Yeung // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): collective monograph, edited by B. Braunschweig, M. Ghallab. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – Vol. 12600. – P. 13-39. DOI: 10.1007/978-3-030-69128-8.
2. A Systematic Review of Explainable Artificial Intelligence in Terms of Different Application Domains and Tasks [Text] / M. R. Islam, M. U. Ahmed, S. Barua, S. Begum // Applied Sciences. – 2022. – Vol. 12. – Article Id: 1353. DOI: 10.3390/app12031353
3. Харченко В. С., Фесенко Г. В., Ілляшенко О. О. (2022), Базова модель нефункційних характеристик для оцінки якості штучного інтелекту // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи* 2(102). с. 1-14.
4. ISO/IEC 25010 (2011). ISO/IEC 25010:2011, Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.
5. Харченко В.С., Жихарев В.Я., Іллюшко В.М. та ін. (2004), *Основи надійності цифрових систем*, Харків: Нац. Аерокосм. Ун-т. «ХАІ».
6. NIST Four Principles of Explainable Artificial Intelligence: Draft NISTIR 8312 / P. J. Phillips, C. A. Hahn, P. C. Fontana, D. A. Broniatowski, M. A. Przybocski, C. A. Hahn, P. C. Fontana. – Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2020. – 24 p. DOI: 10.6028/NIST.IR.8312.
7. European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Ethics guidelines for trustworthy AI, Publications Office, (2019), <https://data.europa.eu/doi/10.2759/346720>
8. UNESCO (2021), Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455>, Дата звернення 21.05.2022
9. ISO/IEC TR 24028:2020. Information technology. Artificial intelligence. Overview of trustworthiness in artificial intelligence [Electronic resource]. – Available at: <https://www.iso.org/standard/77608.html>. – 10.03.2022.
10. OECD. Tools for Trustworthy AI: A Framework to Compare Implementation Tools [Electronic resource]. – Available at: <https://www.oecd.org/science/tools-for-trustworthy-ai-008232ec-en.htm>. – 10.03.2022.
11. Москаленко В. В. Багатоетапний метод глибинного навчання з попереднім самонавчанням для класифікаційного аналізу дефектів стічних труб [Текст] / В. В. Москаленко, М. О. Зарецький, А. С. Москаленко, А. Г. Коробов, Я. Ю. Ковальський // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2021. – № 4. – С. 71-81. DOI: 10.32620/reks.2021.4.06.
12. Kuchuk, H. System of license plate recognition considering large camera shooting angles [Text] / H. Kuchuk, A. Podorozhniak, N. Liubchenko, D. Onischenko // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2021. – No. 4. – P. 82-91. DOI: 10.32620/reks.2021.4.07
13. Some, Evariste & Gondwe, Greg & Rowe, Evan. (2019). Cybersecurity and Driverless Cars: In Search for a Normative Way of Safety. 352-357. 10.1109/IOTSMS48152.2019.8939168.
14. Gordieiev, O. IT-oriented software quality models and evolution of the prevailing characteristics [Text] / O. Gordieiev, V. Kharchenko // *Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT): Proceeding of 9th Int. Conf.*, 2018. – P. 375-380. DOI: 10.1109/DESSERT.2018.8409162.

Received (Надійшла) 30.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

A framework for metric evaluation of artificial intelligence systems based on quality model

Ihor Vasyliev, Vyacheslav Kharchenko

Abstract. Motivation. Nowadays it is crucially important to understand whether systems based on artificial intelligence (AI) can be trusted. Many modern AI systems are built according to the "black box" principle, i.e. it is not clear how they work, but we see only the results of their work. Besides, it is needed tools to compare different AI solutions. When several AIs are competing for use in some system, it is required to determine the best one. **The goal of the research** is to develop a model-based framework to evaluate the quality of an AI system (AIS) using metrics and a method for visualizing the evaluation results. **Research stages.** The article analyzes the models of AIS quality, metrics and types of convolution for its evaluation, proposes a method for evaluating and visualizing the results and describes an example of applying the method. **Conclusions.** The basic models of quality, combined into a four-level hierarchy are used to assess AIS. The rules of metrics formation and the method of quality calculation using convolutions and visualization of intermediate and final results using radial metric diagrams have been defined for these characteristics. Corresponding quality models, metrics, and evaluation and visualization methods provide implementing automation framework by use of the developed tool. This tool allows the user to create a quality model, set metrics, and enter metrics values. Then, based on these metrics, a generalized quality metric for the system is calculated and visualized using the radar diagrams. The tool is a desktop application created on .Net Framework platform. **The direction of further research.** Forthcoming steps can be devoted to development of the model and tools for quality assessment for different domains, considering the aspects of quality evolution.

Keywords: artificial intelligence system, quality assessment, evaluation metrics, visualization, framework.

І. А. Іщенко, О. А. Руденко

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

РОЗРОБЛЕННЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ У ЖАНРІ ENDLESS RUNNER ЗАСОБАМИ ІГРОВОГО РУШІЯ UNITY

Анотація. Розглянуто окремі аспекти розроблення відеогри для мобільної платформи, серед яких вибір системи монетизації, моделі системи збережень і виду шифрування; вирішення проблем продуктивності за допомогою інструментів профілювання, інтеграція Google Play сервісів тощо. Сфокусована увага на тенденціях та перспективах розвитку ринку мобільних розваг і ключових перевагах ігрового рушія Unity, що виявилися корисними при розробці застосунку. Саме цей рушій розробники обирають найчастіше для створення відеоігор для Android та iOS – найбільш популярних мобільних операційних систем. Це можна пояснити тим, що він славиться своєю мультиплатформністю, гнучкістю та доступністю. Проведено аналіз жанрових трендів магазину застосунків Google Play, обрано жанр та найбільш популярні його особливості, що дозволило відсіяти найбільш суттєві специфічні недоліки, зупинитись на найважливіших перевагах та віднайти особливості, які б вирізняли відеогра на фоні ряду найближчих конкурентів. **Мета.** Розроблення мобільного застосунку в жанрі endless runner, що, з одного боку, наслідує типові геймплейні риси аналогів, а з іншого містить ряд нововведень, які роблять його більш унікальним та захоплюючим. Серед ключових таких особливостей є: повна свобода переміщення персонажа в ігровому просторі, процедура хаотична генерація перешкод, система досягнень і рекордів та відсутність будь-якої обов'язкової реклами. Розроблено систему збережень, що захищена XOR-шифруванням та перевіркою автентичності. Це дозволило запобігти поширенню файлів збереження між недобросовісними користувачами та в цілому підвищило рівень безпеки застосунку, що є важливим для відеоігор зі змагальними елементами. З іншого ж боку система підтримує хмарні функції, що дозволяє переносити прогрес гравця між різними девайсами за умови авторизації в сервісах GooglePlay.

Ключові слова: мобільний застосунок, Unity, C#, Android, мобільна відеогра, ринок, геймплей.

Вступ

Станом на початок 2022-го року існує багато різноманітних платформ, що надають можливість спілкуватися, споживати медіаконтент, працювати, навчатися та грати в відеоігри. Саме ринок мобільних пристроїв показує один з найбільш швидких та стабільних темпів розвитку.

Звісно, найближчим часом не можна буде спостерігати повний спад продажів консолей або персональних комп'ютерів (ПК), адже ці платформи все ще залишаються досить популярними та займають значну частку ринку. Однак складно заперечувати, що саме смартфони є одним з найперспективніших напрямків у якому рухається галузь зараз. Протягом десятиліть на мобільних пристроях домінували ігри,

що значно відрізнялися від популярних аналогів на інших платформах. Проте зараз поняття «мобільна відеогра» дуже швидко змінюється. Межі розмиваються завдяки зростанню потужності мобільних девайсів, а також тому, що виробники консолей і комп'ютерних ігор хочуть отримати частину гігантського ринку мобільних пристроїв. Так, згідно з Newzoo ринок мобільних ігор заробив 93,2 мільярда доларів минулого року і становив 52% індустрії, в той час як консолі займали 28% ринку, ПК – 20% [1].

Майбутнє індустрії мобільних ігор станом на сьогоднішній день видається перспективним. Такі висновки можна зробити з огляду на постійне зростання продажів смартфонів упродовж останніх 14 років, за виключенням 2019-2020 років (рис. 1) [2].

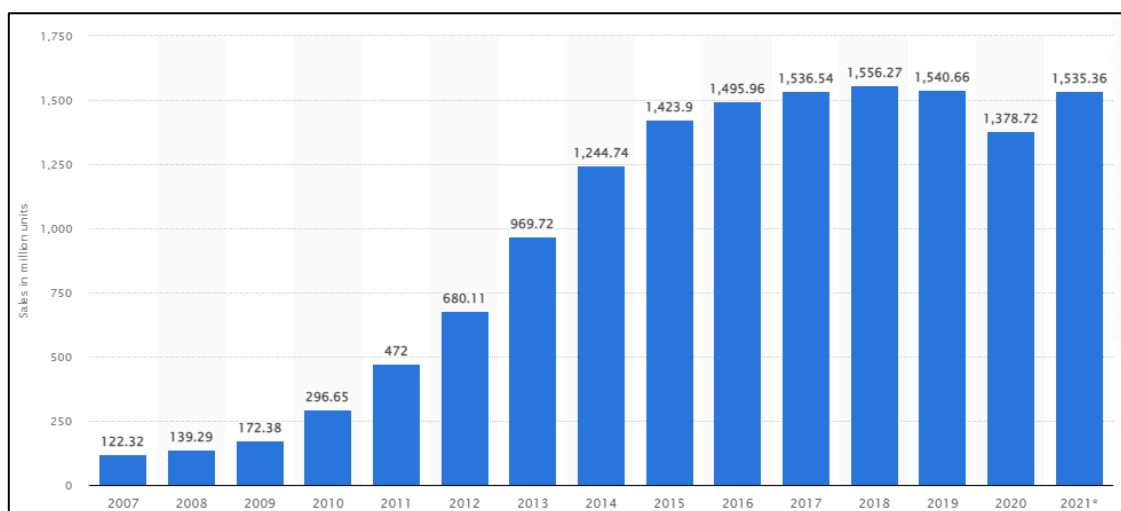


Рис. 1. Кількість проданих смартфонів кінцевим користувачам з 2007 до 2021

Вищезгадане незначне порушення тренду можна пояснити стрімким поширенням коронавірусної хвороби та введенням локдаунів, що мало значний негативний вплив на більшість економічних сфер.

Попри це світова економіка поступово приходить в норму, тому, за оцінками експертів, галузь мобільних розваг буде розвиватися і надалі та мати досить широкі перспективи.

Виклад основного матеріалу

Ігровий рушій – це середовище розробки програмного забезпечення, яке також називають «ігровою архітектурою» або «ігровим фреймворком», з налаштуваннями та конфігураціями, які оптимізують і спрощують розробку відеоігор на різних мовах програмування.

Ігровий рушій може включати рушій візуалізації 2D або 3D графіки, сумісний з різними форматами імпорту, фізичний рушій, що імітує реальні дії, штучний інтелект (AI), що автоматично реагує на дії гравця, звуковий рушій, що керує звуковими ефектами, анімаційний рушій тощо [3].

Unity є одним з найпопулярніших ігрових рушіїв сьогодення. Unity, як випливає з його назви, це рушій, який має намір об'єднати ігрову індустрію. Дійсно, він використовується для створення найрізноманітніших ігор, починаючи від примітивних клонів Angry Birds до епічних японських рольових ігор (JRPG).

Посєднавши всі найкращі практики галузі та інтегрувавши їх в унікальне, але просте середовище розробки, Unity зробив свій двигун наріжним каменем галузі [4].

Цей ігровий двигун має ряд переваг, проте серед них варто виділити такі:

- доступність – Unity має як безкоштовну, так і професійну версію;
- кросплатформність – Unity дозволяє розробникам ігор створювати та розгортати ігри на найрізноманітніших платформах;
- режим відтворення – один із інструментів Unity, що дозволяє швидко переглядати внесені зміни та редагувати гру;
- широкі можливості відладки;
- єдиний маркетплейс Unity Asset Store.

Всі перелічені переваги Unity виявилися суттєвими при створенні Android-застосунку та дозволили суттєво оптимізувати процес розробки відеоігри в багатьох аспектах.

Сама ж розроблена гра є типовим представником endless runner – піджанру ігор-платформерів, в яких персонаж має подолати якомога довший шлях, ухиляючись від перешкод, збираючи ігрову валюту та різноманітні підсилювачі. Головна ціль гравця – отримати найбільшу кількість очок, виживши якомога довше.

Ігри цього жанру часто запозичують багато рис, характерних для казуальних застосунків, серед яких нескладні правила, спрощене керування та проста графіка. Вони не потребують високого когнітивного навантаження, фокусуючись лише на рефлексках, що часто дозволяє гравцеві зануритись в

медитативний психічний стан під час ігрового процесу.

Взаємодія нового гравця з застосунком розпочинається з пропозиції авторизуватись (рис. 2).

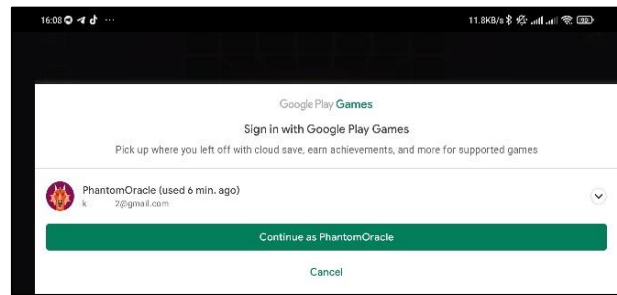


Рис. 2. Процес авторизації

Авторизований користувач отримує доступ до досягнень, таблиці лідерів та, найголовніше, хмарних збережень, що дозволяють переносити ігровий прогрес між пристроями (рис. 3). Якщо ж користувач відмовиться від авторизації, то він зможе за бажанням зробити це пізніше.



Рис. 3. Вибір файлу збереження в головному меню

Після цього гравець потрапляє в головне меню, звідки можна розпочати гру, перейти до магазину, переглянути розблоковані та доступні досягнення та таблицю рекордів (рис. 4-6).



Рис. 4. Внутрішньоігровий магазин

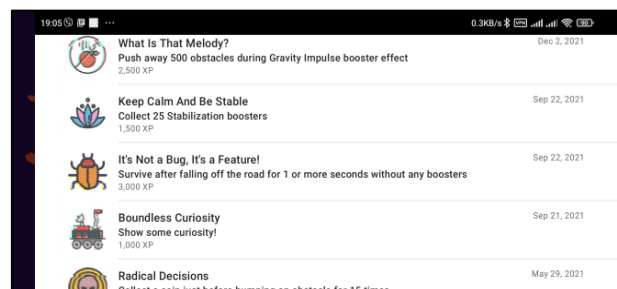


Рис. 5. Список ігрових досягнень



Рис. 6. Таблиця рекордів

На рис. 7 наведено типовий приклад геймплею, де також зображено ефект одного з підсилювачів.

В розробленому застосунку була впроваджена система монетизації, в основі якої лежать так звані «rewarded videos» – відеоролики, за перегляд яких користувач отримує певну винагороду. Так, за перегляд відео гравець може продовжити гру після поразки з того ж самого місця (рис. 8) або подвоїти зібрані монети.

Такий підхід не дратує аудиторію застосунку, показує значно кращі результати за показниками реклами (наприклад, eCPM) та загалом є більш справедливим.

Ця система була впроваджена за допомогою рішення для монетизації Unity Ads.

Окрім легкої та зручної інтеграції з Unity-застосунками, пропонується ілюстративна аналітична інформація (рис. 9).

Цінним джерелом аналітичної інформації опублікованого в Google Play застосунку також є консоль розробника Google (рис. 10).



Рис. 7. Ігровий процес



Рис. 8. Пропозиція перегляду відеоролика

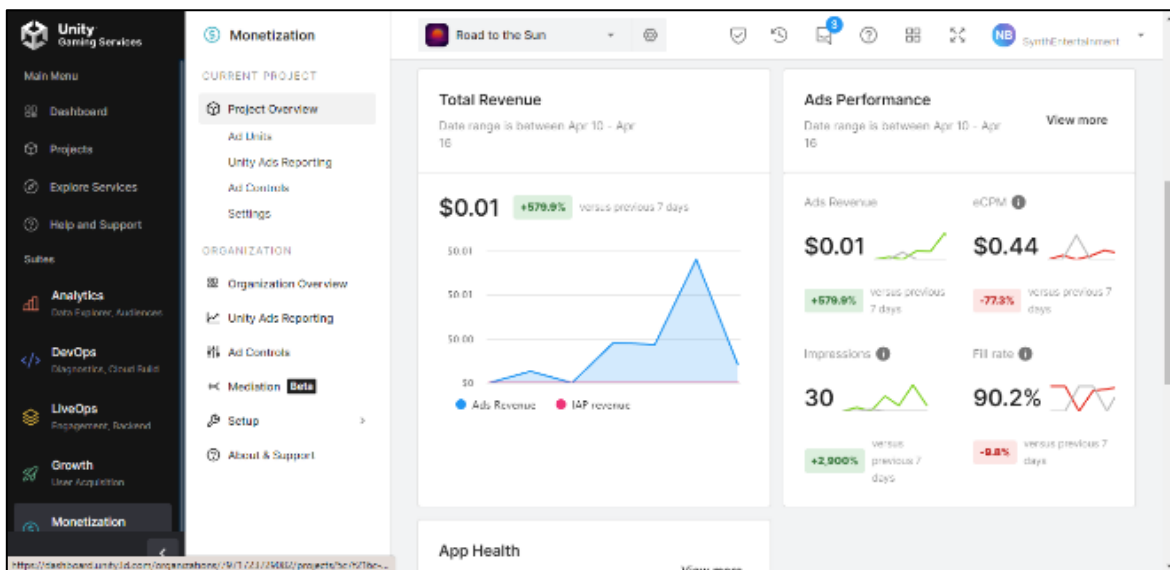


Рис. 9. Фрагмент даних по монетизації

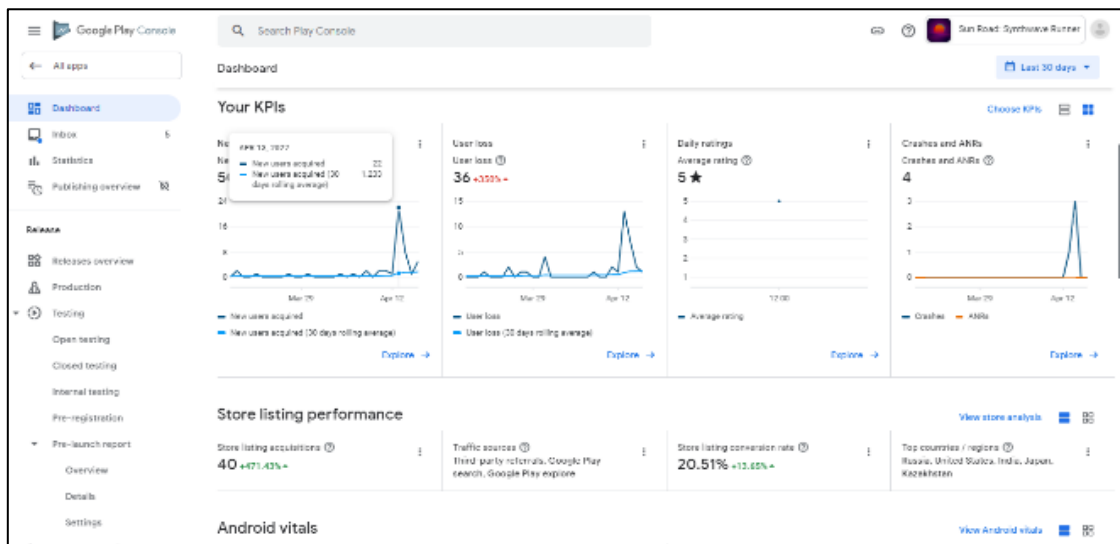


Рис. 10. Фрагмент даних в консолі розробника Google

В той час як Unity Ads фокусується перш за все на фінансових аспектах, консоль містить інформацію про безпосередньо сам застосунок: приріст та втрати аудиторії, ефективність сторінки застосунку, дані про сервіси Google Play тощо.

Однією з головних проблем, що виникла під час розробки застосунку, стала продуктивність на мобільних пристроях. За допомогою використання

різноманітних інструментів Unity, наприклад, глибокого профілювання (рис. 11) та консолі, було виявлено, що причиною низької продуктивності була неоптимальна ігрова фізика.

Цю ситуацію було виправлено за допомогою заміни більшої динамічних об'єктів в сцені статичними, тобто такими, позиція яких не може бути змінена.

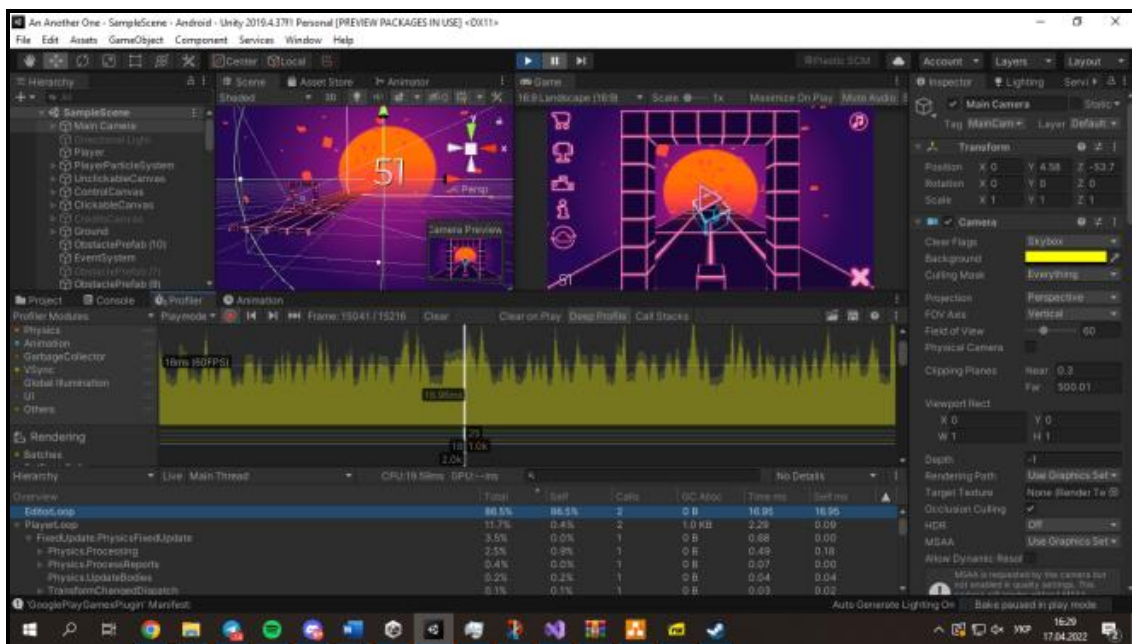


Рис. 11. Профайлер Unity

Це дозволяє Unity обчислити велику частину роботи з обробки заздалегідь, а не під час виконання застосунку [5]. При цьому, якщо гравець спробує взаємодіяти з даними об'єктами, то вони будуть замінені на їх динамічні копії в режимі реального часу. Таким чином вдалося покращити продуктивність та залишити переваги динамічних об'єктів.

Окремо варто зупинитись на створеній системі збережень. В ході її розробки було вирішено відмовитись від використання традиційних баз даних на

користь BLOB-файлів [6], що містять зашифровану структуру даних типу «ключ-значення». Таке рішення було обумовлене декількома причинами. По-перше, використання баз даних для збереження незначного обсягу інформації в такому невеликому проекті не надає ніяких суттєвих переваг. По-друге, система хмарних збережень від Google Play Games використовує саме BLOB-файли, що дозволяє уникнути будь-яких застосункових конвертацій даних, а тому в цілому покращити продуктивність. По-третє,

такий підхід в цілому простіший, не потребує застосункових компетенцій та чудово підтримується самим рушієм, що дозволило зекономити досить багато часу.

Для шифрування файлів збереження було обрано гамування – шифр, в основі якого лежить використання операції XOR (виключної диз'юнкції). Його головна перевага полягає в простій реалізації та дуже низькій «вартості» з точки зору обчислень. Проте у разі використання повторюваного ключа або розкриття частини зашифрованої інформації, такий шифр можна тривіально зламати за допомогою, частотного аналізу або атаки з відомим відкритим текстом. Тим не менш, якщо ключ є випадковим і його довжина є не меншою довжини повідомлення, шифр XOR стає набагато безпечнішим [7]. Саме таку модифікацію шифру і було використано.

Також в системі збережень було реалізовано перевірку автентичності. В кожному файлі кодується унікальний ідентифікатор пристрою і, якщо збережений ідентифікатор не збігається з поточним, то збереження знищується. Таким чином переносити прогрес між пристроями за допомогою простого копіювання файлів, а не хмарних збережень, неможливо. Це було зроблено з метою запобігання недобробросівісному поширенню файлів з прогресом між гравцями.

Висновки

Створення відеоігор – це комплексний та багатогранний процес, який потребує вирішення найрізноманітніших питань, значна частина яких стосу-

ється не тільки суто технічних або програмних аспектів. Тим не менш, вони все ще мають значний вплив на подальший успіх чи провал програмного продукту. Наприклад, інтеграція досягнень та таблиці рекордів робить відеогру більш соціальною та цікавою, а система хмарних збережень з підтримкою шифрування захищає змагальний елемент застосунку та дозволяє користувачам не хвилюватись про безпеку власних даних.

Розроблено мобільну відеогру, яка, крім типових геймплейних рис жанру, володіє рядом особливостей, серед яких:

- відсутність чіткого поділу ігрового поля на три дороги;
- рандомізована генерація перешкод з динамічною складністю;
- synthwave-стилістика, що виражається у відповідній музиці та мінімалістичній графіці з неоновими елементами;
- повна свобода переміщення гравця;
- механіка різноманітних підсилень та магазин, де їх можна покращувати;
- система хмарних збережень з XOR-шифруванням та перевіркою автентичності;
- онлайн-таблиця рекордів та система ігрових досягнень.

До подальших напрямків у роботі можна віднести перенесення застосунку на iOS, загальні покращення системи генерації перешкод та інших об'єктів, втілення генерованих структур, розширення системи бустерів і подальше вдосконалення алгоритму шифрування та системи збережень в цілому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Майбутнє мобільного геймінгу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bit.ly/3uTkqz7>
2. Світові продажі смартфонів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bit.ly/3uZvMBA>
3. Що таке ігровий рушій? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bit.ly/3rCII53>
4. David Baron (2019), Hands-On Game Development Patterns with Unity 2019
5. Jonathan Linowes (2020), Unity 2020 Virtual Reality Projects
6. Silberschatz, Abraham; Korth, Henry F.; Sudarshan, S. (2011). Database system concepts
7. Churchhouse, Robert (2002), Codes and Ciphers: Julius Caesar, the Enigma and the Internet, Cambridge: CU Press

Received (Надійшла) 19.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Development of an endless runner mobile app using Unity Game Engine

I. Ishchenko, O. Rudenko

Abstract. Some aspects of video game development for a mobile platform are considered, including the choice of monetization system, storage system model and type of encryption; solving performance problems with profiling tools, integration of Google Play services, and more. The special focus was on the trends and prospects of the mobile entertainment market and the key benefits of the Unity gaming engine, which proved useful in the development of the application. This is the engine most often chosen by developers to create video games for Android and iOS – the most popular mobile operating systems. This can be explained by the fact that it is famous for its multiplatform capabilities, flexibility and accessibility. The genre trends of the Google Play app store were analyzed, the genre and its most popular features were selected, which allowed to eliminate the most significant specific shortcomings, focus on the most important advantages and find features that would distinguish the video game from a number of nearby competitors. The purpose of the article is a development of a mobile application in the genre of endless runner, which, on the one hand, inherits the typical game play features of analogues, and on the other hand contains a number of innovations that make it more unique and exciting. Key features include complete freedom of movement for the character in the game space, procedural chaotic generation of obstacles, a system of achievements, the leader board, and the absence of any mandatory advertising. A storage system has been developed that is protected by XOR encryption and authentication of a save file. This prevented the distribution of save files among unscrupulous users and generally increased the level of security of the application, which is important for video games with competitive elements. On the other hand, the system supports cloud features, which allows users to transfer progress between different devices, subject to authorization in Google Play services.

Keywords: mobile application, Unity, C #, Android, mobile video game, market, game play.

Я. Є. Корсунська, І. В. Ільїна

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ КОДУВАННЯ ТРАФІКА В ЗАХИЩЕНИХ КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Наш сучасний світ, наше сучасне суспільство можна цілком і повністю назвати інноваційною та інформаційною спільнотою, в якій технології розвиваються стрімко. Це стрімкий розвиток комунікацій та технологій дозволив вивести поняття "інформація" на новий рівень. Завдяки комп'ютерним технологіям людство навчилося передавати та обробляти інформацію у неймовірно великих обсягах. Оперативність обробки так само зробила крок вперед. Всі ці інновації дали величезний поштовх у розвитку розповсюдження інформаційних продуктів і послуг. Все це стало більш мобільним та модернізованим з появою, майже у кожного користувача, персонального електронного комп'ютерного обладнання та розширення телекомунікаційних систем. З кожним днем стала збільшуватись потреба у розробці та застосуванні ефективних рішень в інформаційних сферах. Збільшилася кількість виробництва апаратного та програмного забезпечення. Інформаційні технології для отримання та обробки нових знань також вимагали вдосконалення. З розвитком усіх нових технологій та інформацій, стало зароджуватися інформаційне суспільство в якому потрібно обробляти, захищати та передавати ті чи інші відомості через мережу. Ця стаття присвячена аналізу методів кодування трафіку, їх властивостей, відмінностей та вибору найбільш оптимального методу для захищених каналів передачі інформації.

Ключові слова: комп'ютеризовані системи та мережі, система захисту інформації, адаптивне кодування, ширококутні сигнали, сигнально-кодові конструкції.

Вступ

Опис проблеми у загальному вигляді: модернізація апаратного та програмного забезпечення обробки, захисту та передачі всієї інформації в удосконалених комп'ютерних системах та мережах із стандартизованими методами захисту інформації, які виконують операцію адаптації та відповідають вимогам мінімальних апаратних та енергетичних витрат, є найбільш актуальним науково-практичним завданням у даному напрямі [1-6].

У сфері одноманітних засобів захисту існує потреба у створенні функціональних систем захисту. Їх основа лежить у методах адаптивного кодування, які застосовують зміни особливостей системи передачі за двома параметрами, що вимірюються: енергетичний виграш за сет кодування і швидкість передачі, щоб забезпечити найбільш сприятливе співвідношення виграшу до заданої швидкості при різноманітних станах інформаційного каналу. Під час процесу адаптивного кодування необхідно вирішити наступні основоположні завдання:

– визначити яку якість має інформаційний канал зв'язку;

– зробити висновок про зміну значень параметрів кодера та декодера, щоб забезпечити задану ймовірність доведення повідомлення, при мінімальній надмірності коду;

– встановити нові параметри коду в кодувальному та декодувальному пристрої.

Аналіз існуючих рішень

В даний час відомі деякі методи зміни параметрів коду за результатами повідомлення, а більш дієва двоконтурна схема корекції параметрів коду в залежності від якості каналу зв'язку по суті не використовується [7]. Методи визначення якості каналу зв'язку за результатами декодування коду та методи реалізації завадових кодів зі змінними параметрами мало вивчені.

Основний прорив у здійсненні систем із зворотним зв'язком може бути показаний при використанні методів адаптивного кодування. Використання останніх дозволить створити основу розробки універсальних пристроїв захисту від помилок у складі уніфікованого ряду кінцевих пристроїв передачі даних. Це дасть поштовх, використовуючи єдиний пристрій захисту від помилок створити не тільки адаптацію до поточних змін статистики помилок каналу зв'язку, але і догодити широкому діапазону вимог до правдивості передачі інформації для різних видів зв'язку. Основними параметрами завадостійкого коду є [8]:

– блокова довжина (блокові коди) або довжина кодового межі (згорткові коди);

– швидкість коду, яка визначає його надмірність та коригуючу здатність.

Тим не менш, зміна параметрів коду лише часом гарантує необхідну мінімальну кодову відстань, і стійкість до перешкод може знижуватися. У зв'язку з тим, що алгоритми кодування і декодування певних кодів прив'язані до структури поліномів коду, що породжують і перевіряють, не всі завадостійкі коди можуть легко змінювати свої параметри. На даний момент є параметри коду, які можуть бути застосовані в якості параметричної адаптації. Слід зарахувати кількість інформаційних та надлишкових розрядів, що припадають на кодову комбінацію або список слів, що підлягають передачі. Існує безліч різних варіантів корекції параметрів коду, що ґрунтуються на видаленні або додаванні перевіряючих, інформаційних символів (рис. 1). Перший варіант адаптивної корекції коду полягає у зменшенні інформаційних розрядів і називається укороченням коду [9]. Така процедура не призводить до підвищення швидкості коду.

$$R(i) = \frac{k-i}{n-i} \text{ коли } i = (0, f) \text{ та } n > k. \quad (1)$$

Існує функція (1) монотонно спадаюча. Такий підхід у системах обміну інформацією ефективний для вирішення завдання зниження складності

кодує та декодує пристроїв, при виконанні умови досягнення необхідної виправляючої здатності коду. Іншим варіантом зміни параметрів коду є техніка перфорації або виколування перевірочних розрядів. Перфорація лінійних блокових кодів полягає у видаленні перевірочних символів і це призводить до лінійного блокового коду з параметрами $(n-f, k, d')$, у якого мінімальна відстань $d' < d$. Коли швидкість коду буде зростати, число перевірок зменшиться. Така технологія схожа на видалення певних стовпців з одиничної матриці перевірок.

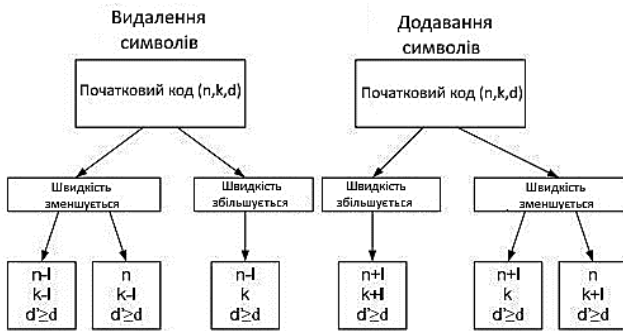


Рис. 1. Способи корекції параметрів завадових кодів

Є сумісні за швидкістю, перфоровані згорткові коди (rate compatible punctured convolution codes RCPC codes). Ці коди базуються з низько швидкісних кодів за допомогою періодичної перфорації, тому може бути збільшено швидкість коду. Якщо материнський код є згортковим кодом швидкості $1/2$, тоді матриці перфорації $P(1)$ - $P(4)$ породжують RCPC коди зі швидкістю $4/5, 4/6, 4/7, 4/8$ відповідно. В адаптивних системах з автоматичним перепитуванням RCPC коди знайшли своє використання, за допомогою їхньої здатності до нарощування надмірності, а також способу побудови кодів зі змінною швидкістю або кодів з нерівною захистом [10].

Застосовується ще один варіант розширення будь-якого двійкового (n, k, d) коду до коду зі значенням $d_{\min} = d + 1$, за допомогою додатку до кожної кодової комбінації результату складення за модулем 2 її символів. Повторення таких кодових комбінацій створює підвищення мінімальної відстані до двох. При цьому швидкість коду зменшується вдвічі. Подовження та поповнення коду полягає у підвищенні числа інформаційних символів, яке згодом тягне за собою збільшення розмірів матриці, що породжує. Як правило, такі коди з коригуванням параметрів, на прийнятній стороні декодуються і за допомогою алгоритму спискового декодування, який забезпечує покращене співвідношення між складністю та ймовірністю помилки, ніж інші алгоритми. Для каналів з випадковим характером помилок практична увага передбачає лише кілька кодів з 10 популярних. Рідше автори користуються 3 види кодів: згорткові, Ріда-Соломона і турбо коди, до них відносяться коди з низькою щільністю випробування на парність (Low Density Parity Check codes - LDPC) [11].

Сукупність кількох схем завадостійкого кодування дозволяє брати до уваги різні обставини експлуатації. Наприклад згортковий код зазвичай засто-

совується передачі мовного трафіку, коли можливість помилки на біт, може бути досить великий, але некритичної сприйняття і усвідомлення переданої інформації. При передачі даних використовуються, наприклад, іменовані каскадні коди, яких зовнішнім зазвичай вважається код Ріда-Соломона, а внутрішній згортковий.

Для зведення адаптивних систем кодування між завадовими кодами велику увагу приділяють сумісним за швидкістю, перфорованим згортковим кодам (Rate Compatible Punctured Convolution Codes – RCPC) та гніздовим (вкладеним) згортковим кодам (Nested Convolution Codes – NCC). Гніздові згорткові коди є комплектом кодів зі швидкістю $R = 1/(n+1)$, які вважаються похідними від згорткового коду швидкості $R = 1/(n+1)$, за допомогою пошуку найкращих генераторних послідовностей $G_{n+1}(D)$. Таким чином, застосовуючи технологію розкладання материнського згорткового коду на систему гніздових (вкладених) згорткових кодів, можливо отримати об'ємний комплект кодових відповідностей (ЕВК), при цьому зберігаючи структуру та метод кодування материнського кода. На даний час синтез гніздових згорткових кодів, а також їх якості досліджуються, поперше залишається незакритим питання про декодування гніздових згорткових кодів. Втім надається увага будівництву адаптивної системи кодування на базі RCPC та NCC кодах, яка допускає зміни по 2 вимірам: отримання необхідної величини виграшу за рахунок кодування та забезпечення різних вимог до інформаційної та каналної швидкості.

Сигнально-кодові системи для систем широкомугового доступу

Усі сигнально-кодові системи відповідно до активної задачі, яка вирішується, поділяються на групи. При створенні нового покоління СКС (сигнально-кодових систем) одним з вимог вважається уніфікація за застосовуваними видами модуляції в частині ширини діапазону радіовипромінювання. Детальне опрацювання вимог до прогресивних систем радіозв'язку дозволила утворити 4 основні групи сигнально-кодових систем.

1. СКС, що застосовуються для автоматичного встановлення та ведення з'єднання. Характеризуються високою стабільністю до шумових, структурних, імпульсних і вузькосмугових перешкод, а також багатопроменевому поширенню, доплерівському розмиттю та зміни частот у каналі. Ця група базується на шумоподібному сигналі, створюваному як розділений код із граничною відстанню.

2. Сигнально-кодові системи, що застосовуються для середньо швидкісної передачі даних. За рахунок надвеликого каналного алфавіту сигнально-кодової системи, 224 і більше каналних знаків, що розрізняються, швидкість передачі 2400 біт/с гарантується при тривалості каналного знаку 20 мс. Це все дозволяє працювати за умов міцної багатопроменевості. Створені трансформації ще забезпечують роботу за умов вузько смугових та імпульсних перешкод у смузі сигналу [12].

3. СКК швидкісної (більше 2400 біт/с) передачі даних. В даний час ведуться роботи з нового

покоління даних сигналів, які володіють більш невисоким пікфактором в порівнянні з сигналами паралельних (OFDM) модемів. Сигнали не стануть потребувати накладних процедур коригування імпульсної властивості каналу, що займають у модемах послідовного типу за стандартом MIL-STD-188-110B до 25% пропускної спроможності каналу.

4. СКК на кшталт CHES (Correlated Hopping Enhanced) Спред Spectrum), що використовують розширення діапазону сигналу корельованими стрибками за частотою. Дана група сигналів зумовлена передачею невеликих обсягів інформації. При швидкості псевдовипадкової перебудови за частотою до 200 стрибків за секунду в смузї до 10 мгц, сигнали цього типу мають високу скритність і характеризуються стабільністю. Це працює з виявленням, перехопленням натуральних та штучного походження перешкод [13]. Співвідношення енергетичної продуктивності від притаманної швидкості для різних систем широкосмугового доступу представлено на рис. 2, де пов'язано перешкодостійкість із пропускною можливістю.

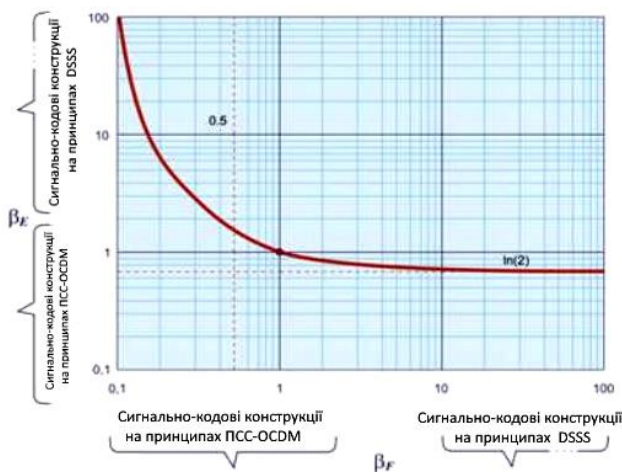


Рис. 2. Залежність енергетичної ефективності від питомої швидкості

З графіка випливає, що залежно від мети застосування системи зв'язку, можна позначити 3 провідних напрями зведення сигнально-кодових систем [14]:

- сигнально-кодові системи на базі OFDM сигналів для систем зв'язку, що забезпечують найбільшу пропускну здатність для даних смуг пропускання та можливості промахів в умовах натуральних перешкод;
- сигнально-кодові системи на базі CDM сигналів з прямим розширенням діапазону (DSSS) для систем зв'язку з найбільшою стійкістю до перешкод по критеріях впливу кожних перешкод;
- сигнально-кодові системи для систем зв'язку з максимально ймовірними перешкодостійкістю та пропускною можливістю в критеріях внутрішньо-системних та зовнішніх перешкод, які отримали назву ортогонально-кодовий розподіл каналів (OCDFM).

Важливим дефектом при застосуванні цих типів СКС у спільній смузї частот вважається спектральне вторгнення сигналів, що тягне за собою нарощування характерних витрат смуги пропускання. Перешкодозахисність 3-х розглянутих технологій створення

систем широкосмугового доступу може бути значуще підвищена методом реалізації сигнально-кодових систем, на базі сигналів зі штучно створюваним широкосмуговим діапазоном.

Оцінка якості каналу зв'язку в системах передачі інформації

Одним із способів контролю каналів передачі даних вважається контроль за вторинними статистичними рисами – статистиці помилок в черговості дискретних складових та блоках інформації з урахуванням залежного від сутності їх заломлення. Для оцінки змінної ймовірності застосовується, як правило, коефіцієнт помилок по одиночним складовим (кодовим комбінаціям). Втім, його використання цілеспрямовано тільки на канали з розподілом помилок, найближчим до незалежного. Оцінка стану каналів, характеризуються групуванням промахів складових (що призводить до зв'язку спотворень блоків інформації). При застосуванні вказаного способу стає очевидно неприйнятним і веде до великих помилок контролю. Внаслідок цього застосовність цього методу обмежується часом квазістаціонарності стану каналу зв'язку.

Популярним є метод контролю якості каналу зв'язку, при якому на виході каналу із прийнятої випробувальної послідовності віднімають передану випробувальну послідовність, і в результаті отримують послідовність помилок, а потім обчислюють характеристики каналу зв'язку, що характеризують його якість. Дефектом даного методу вважається зниження швидкості передачі необхідної інформації, яке обумовлене тим, що визначення якості каналу зв'язку роблять під час передачі каналом випробувальної послідовності, і канал у це час використовується для вимірювань. Контроль якості каналу зв'язку приймається прийнятною стороною за підсумками декодування текстів внутрішнього завадостійкого каскадного коду. При цьому характеристики каналу зв'язку описують двома параметрами: середньою можливістю промахів на біт та коефіцієнтом групування помилок за змінною моделі каналу зв'язку Пуртова.

Дефектом цього методу вважається невисока достовірність контролю, тому що у каналах невисокого якості отримання неспотвореного способу текстів перешкодостійкого коду може відбуватися з невеликою можливістю. Ще достовірність контролю знижується через те, що на прийомній стороні незрозуміло чисельність переданих текстів завадостійкого коду.

При аналітичному дослідженні чи статистичному випробуванні дискретних каналів дуже широко використовуються ймовірнісні характеристики потоку помилок на виході інформаційного каналу.

Зазвичай такі характеристики використовуються:

- усереднена ймовірність появи помилки на безлічі вихідних символів ДКС;
- ймовірність спотворення кодової послідовності $P(i(1,n))$ на безлічі кодових послідовностей на виході інформаційного каналу;
- функція кратності помилок $P(m,n)$, яка визначається як ймовірність появи m помилок на кодовій послідовності довжини n .

Знання цих характеристик, з одного боку, дозволяє визначити властивості реальних каналів зв'язку та розробити на їх основі математичні (імітаційні) моделі, алгоритми яких описують з достатнім ступенем точності.

З іншого боку, ці характеристики дають можливість оцінити ймовірність помилкового декодування при використанні кодів із заданою кодовою відстанню в режимі виправлення помилок за мінімальною Хемінговою відстанню, не проводячи складних процедур кодування та декодування.

Висновки

У комплексі завдань розробки та створення єдиної автоматичної системи управління вагомий простір належить реалізації високоефективних уніфікованих апаратно-програмних модулів захисту та передачі інформації.

Зростання запитів до достовірності та своєчасності передачі інформації в призначених комп'ютерних системах у поєднанні з вимогами до імовірнісно-часових рис доведення повідомлення потребує поліпшення та розробки універсальних засобів захисту та

передачі інформації. Зроблений аналіз в області проектування апаратно-програмного забезпечення для передачі інформації в комп'ютеризованих вбудованих системах показав, що немає єдиного методологічного підходу, спрямованого на створення універсальних модулів захисту інформації, яке дозволяло б гарантувати належну відповідність енергетичного виграшу та швидкості передачі. Головним дефектом інформаційних систем передачі даних в автоматичних системах зв'язку – кожний прилад захисту від помилок розробляється під кожний образ каналу зв'язку, що породжує велику кількість різних пристроїв, які реалізують ту саму функцію – захист інформації від помилки. Існуючі методи захисту інформації від помилок не передбачають топологію потоку помилок на виході справжніх каналів зв'язку. Таким чином, метою цієї статті вважається розгляд засобів збільшення достовірності та швидкості передачі інформаційних повідомлень у комп'ютеризованих вбудованих системах, на базі розробки та покращення уніфікованих способів та алгоритмів захисту та передачі інформації, що реалізуються на прогресивній елементній основі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sojuyigbe S., Daniel K. Wearables/IOT devices: Challenges and solutions to integration of miniature antennas in close proximity to the human body. Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity, 2015 IEEE Symposium, March 2015.
2. Gagliardone I., Gal, D., Alves, T. and Martinez, G.: Countering Online Hate Speech. UNESCO, Paris, France, 2015.
3. Мірошник М.А. Методи захисту цифрової інформації у розподілених комп'ютерних мережах/М.А. Мірошник // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті – 2014. – №5, с.66-70.
4. Рентюк В. Короткий путівник бездротових технологій «Інтернету речей». Частина 1. Мережі, шлюзи, хмари та протоколи // Control Engineering Росія. 2017. №6.
5. Рентюк В. Короткий путівник бездротових технологій «Інтернету речей». Частина 2. Близький радіус дії// Control Engineering Росія. 2018. №1.
6. Рентюк В. Короткий путівник бездротових технологій «Інтернету речей». Частина 3. Wi-Fi// Control Engineering Росія. 2018. №2.
7. Рентюк В. Короткий путівник бездротових технологій «Інтернету речей». Частина 4. Великий радіус дії// Control Engineering Росія. 2018. №3.
8. Рентюк В. Електромагнітна стійкість: проблема, рішення якої не йдуть // Компоненти та технології. 2017. №7.
9. Збільште термін служби батареї мобільного або бездротового пристрою (5991-0519EN).
10. Крилова В.А. Реалізація адаптивного пристрою кодування/декодування на ПЛІС / В.А. Крилова // Вісник НТУ "ХПІ". - Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – №15 (1058) – С. 86-90.
11. Галушкін, А.І. Нейронні мережі: історія розвитку теорії: Навчальний посібник для вузів. / А.І. Галушкін, Я.З. Ципкін. - М: Альянс, 2015. - 840 с.
12. Каллан, Р. Нейронні мережі: Короткий довідник/Р. Каллан. - М: Вільямс І.Д., 2017. - 288 с.
13. Хайкін, С. Нейронні мережі: повний курс / С. Хайкін. – М.: Діалектика, 2019. – 1104 с.
14. Ширяєв, В.І. Фінансові ринки: Нейронні мережі, хаос та нелінійна динаміка / В.І. Ширяєв. - М: Ленанд, 2019. - 232 с

Received (Надійшла) 30.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.05.2022

Study of the traffic encoding method in secure information transmission channels

Y. Korsunskaya, I. Plina

Abstract. In the era of global informatization, social networks are of great importance for obtaining various information by network users. But it must be taken into account that social networks such as Facebook, Twitter, instagram contain billions of raw unstructured data, the processing of which is indeed quite a difficult task to study. Data mining allows you to extract current information from a large number of data sets, structure and, after the analysis, gain knowledge by detecting patterns between data, which makes it possible to predict changes in the network that have occurred based on the interactions of information flows and events. This information is used in various fields such as business, education, medicine, cyber security, etc. The field of data mining has made huge strides from its inception to its current level, but Data Mining continues to face many challenges, especially when processing social media data. This article is devoted to the analysis of various data mining methods that are used for social network analysis, as well as the study of the most priority areas in the field of data mining based on the review of various studies, and also focuses on the field of data mining in social networks, which will be used in further research.

Keywords: computerized systems and networks, information security system, adaptive coding, broadband signals; signal-code structures.

Н. Г. Кучук¹, О. П. Міхаль², А. П. Шиман¹, М. В. Науменко²

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ДИНАМІЧНА ВІДЕОФІКСАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У МЕГАПОЛІСІ

Анотація. На сьогодні для системи моніторингу дорожнього руху у мегаполісі необхідні компоненти проведення класифікації транспортних засобів, що можуть функціонувати у режимі реального часу. Однак дане завдання суттєво залежить від характеристик та можливостей програми динамічної відеофіксації транспортних засобів. Тому **метою даної статті** є розробка програми швидкої динамічної відеофіксації транспортних засобів, яка дозволить запустити в режимі реального часу компонент класифікації рухомих засобів системи моніторингу дорожнього руху у мегаполісі. **Предметом досліджень статті** є методи динамічної фіксації транспортних засобів. **Об'єктом дослідження** є процес дорожнього руху у мегаполісі. Для досягнення мети вирішені такі **завдання дослідження**: проведений аналіз технічного забезпечення, що використовується для фіксації об'єктів дорожнього руху, вибрані потрібні програмні засоби та розроблена відповідна програма у обраному середовищі. **Висновок.** Запропонований у статті програмний комплекс динамічної відеофіксації транспортних засобів при дорожньому русі у мегаполісі дозволить проводити їх ідентифікацію у режимі реального часу.

Ключові слова: дорожній рух, транспортний засіб, відеофіксація, мегаполіс.

Вступ

Проблеми транспортної системи безпосередньо пов'язані зі зростанням кількості транспортних засобів, що пересуваються сучасним мегаполісом. Система моніторингу дорожнього руху (СМДР) є ефективною альтернативою для зменшення заторів на дорогах. СМДР автоматично та безперервно контролює транспортні засоби, що рухаються. Датчики, встановлені на дорозі або поблизу неї, використовуються для запису, узагальнення, оцінки та візуалізації різноманітних параметрів транспортних засобів, інфраструктури та навколишнього середовища.

Залежно від сфери застосування візуалізація даних може здійснюватися на різних рівнях агрегації (від візуалізації всієї зібраної інформації в реальному часі до конкретних повідомлень і попереджень у разі відхилень та/або порушень, що стосуються безпеки). СМДР використовуються для надання допомоги поліцейським та транспортним органам у профілактичних та нормативних заходах для підвищення безпеки дорожнього руху.

СМДР мегаполісу використовується на ключових перехрестях перед або на об'єктах інфраструктури (мости, тунелі), в пунктах огляду вантажних і комерційних автомобілів, на зупинках відпочинку, пандусах, наземних та підземних переходах тощо.

Однією з основних функцій системи моніторингу руху є класифікація транспортних засобів, що базується на динамічній відеофіксації транспортних засобів. Точна класифікація транспортних засобів за різними типами має вирішальне значення для ефективного руху та планування перевезень [1]. Наприклад, інформація про кількість великогабаритних вантажівок на ділянці автомагістралі використовується для оцінки пропускної здатності ділянки та планування робіт з ремонтних робіт дорожнього покриття. Визначення типів транспортних засобів, особливо кількості транспортних засобів, особливо з вагою більше п'яти тонн, представляє великий інтерес для спільноти. Навіть геометричний дизайн

проїжджої частини у низці випадків напряму залежить, від типів транспортних засобів, які часто використовують проїжджу частину [2].

Аналіз публікацій за темою дослідження. Питанням, пов'язаним із класифікацією зображень, присвячено багато наукових праць, наприклад, [3-5]. Окремо можна виділити низку праць, що орієнтовані на динамічну відеофіксацію зображень [6, 7] та пов'язані із об'єктами дорожнього руху [8]. Але всі розглянуті методи не орієнтовані на швидку відеофіксацію, причому не у статичній, а у динамічній.

Тому **метою даної статті** є розробка програми швидкої динамічної відеофіксації транспортних засобів, яка дозволить запустити в режимі реального часу компонент класифікації рухомих засобів системи моніторингу дорожнього руху у мегаполісі. **Завдання дослідження** полягають у аналізі технічного забезпечення, виборі програмних засобів та розробці відповідної програми.

1. Технічне забезпечення СМДР

1.1 Детектори та датчики. Розглянемо основні принципи дії детекторів транспортних засобів, що використовує СМДР для визначення інтенсивності і складі руху.

Магнітно-індуктивні детектори засновані на вимірі зміни параметрів електромагнітних коливань, що генеруються в індуктивних детекторах, розташованих в покритті автомобільної дороги.

Радіолокаційні (СВЧ) детектори засновані на ефекті Доплера і складаються з випромінювача і приймача високочастотного випромінювання. Параметри відбитого від покриття дороги сигналу, що приймаються приймачем, змінюються при проїзді транспортного засобу в зоні дії детектора. Ці детектори чутливі до зміни погодних-кліматичних умов.

Ультразвукові детектори теж засновані на ефекті Доплера і складаються з випромінювача і приймача ультразвукового випромінювання. Робота ультразвукового датчика заснована на п'єзо-ефекті - зміні геометричних розмірів керамічної або

кварцовою пластини в електричному полі, а також появи електричного поля на поверхні пластини при механічних впливах на неї.

Інфрачервоні детектори діляться на активні і пасивні. Активні детектори засновані на реєстрації зміни інтенсивності інфрачервоного випромінювання, що виникає при русі транспортного засобу. Пасивні детектори не мають випромінювача і реагують на появу транспортного засобу.

Магнітні детектори засновані на впливі магнітного поля Землі і реагують на його зміну при проїзді транспортного засобу (рис. 1). Вони діляться на активні (магнітометри) і пасивні (феррозонди).

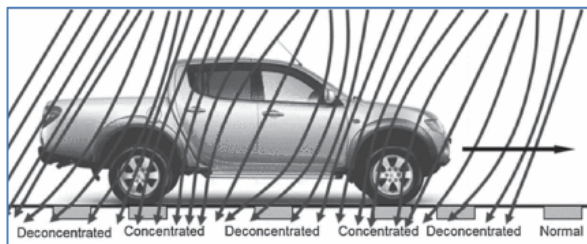


Рис. 1. Принцип роботи магнітного детектора

Пневматичні детектори засновані на визначенні зміни тиску при проїзді транспортного засобу. Виникає імпульс повітряного тиску, який поширюється уздовж трубки і впливає на перетворювач електричних сигналів.

Тензодетектори дозволяють визначати число осей транспортного засобу і навантаження на осі.

Відеодетектори, це, зазвичай, різноманітні спеціалізовані відеокамери, що надають багату інформацію для класифікації транспортних засобів, таку як візуальні характеристики та геометрія транспортних засобів, що проїжджають повз них. Системи із відеокамерами можна класифікувати на основі того, як фіксується зображення транспортного засобу (наприклад, методи зменшення впливу фонового зображення).

Датчики вібрації використовують саме дорожнє покриття як перетворювач, вібраційні датчики фіксують унікальні вібраційні моделі, викликані проїжджаючими транспортними засобами через низьку еластичність дорожнього покриття, що робить вібрації добре локалізованими в часі та просторі.

1.2 Вибір мікрокомп'ютера. Для розробки моделі було розглянуто багато різних мікрокомп'ютерів. Зупинилися на виборі мікрокомп'ютеру Raspberry Pi 1 Model B+ (рис. 2), який, хоч і має габарити, порівняні з кредитною картою, але може забезпечити функціональність середнього настільного персонального комп'ютера і підійде для запуску та роботи багатьох застосунків, таких як текстові редактори, таблиці, ігри, серфінг в інтернеті, а також перегляду відео в високій роздільній здатності (Full HD). Його конструкція не включає вбудований жорсткий диск або твердотільний накопичувач. У цій ролі використовується карта пам'яті формату microSD, на якій розміщується завантажувач операційної системи, а вільне місце використовується як системний диск і сховище даних.



Рис. 2. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 1 Model B+

Основні його переваги:

- низьке енергоспоживання ;
- система керування живленням дозволяє керувати живленням різних пристроїв прямо з Raspberry Pi 1 Model B+, що дозволяє використовувати пристрої з високим енергоспоживанням, такі як зовнішні жорсткі диски USB ;
- універсальний роз'єм 40 pins GPIO, на відміну від 26-контактного у попередній модифікації;
- наявність 4-х USB-портів.

Основні його характеристики:

- чіп: Broadcom BCM2835 процесор мультимедійних додатків з підтримкою Full HD;
- CPU: Енергоефективний процесор програм ARM11CPU: 700 МГц ;
- GPU: двоядерний процесор VideoCore IV®. Забезпечує Open GL ES 2.0, апаратне прискорення OpenVG та високопродуктивне декодування H.264 1080p30. Продуктивність до 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s або 24GFLOP з фільтрацією текстур та інфраструктурою DMA ;
- пам'ять: SDRAM 512 МБ , 400 MHz;
- операційна система: завантаження з карти Micro SD, що працює під керуванням операційної системи Linux;
- живлення: роз'єм Micro USB 5V, 2A. Потужність / напруга: від 600 мА до 1,8 А при 5 В;
- Ethernet: 1 порт RJ45 10/100 BaseT;
- відеовихід: HDMI (версія 1.3 та 1.4), композитний RCA (PAL та NTSC);
- аудіо: багатоканальне HD-аудіо через HDMI, стерео через роз'єм 3,5 мм;
- інтерфейси: GPIO 40, 1x CSI-2 для камери Raspberry Pi, 1x DSI для дисплеїв Raspberry Pi;
- розміри : 85 mm x 56 mm;
- вага : 0,055 кг.

2. Вибір програмного забезпечення

Програмне забезпечення для Raspberry Pi. Платформа Clover заснована на операційній системі Raspbian і популярному робототехнічному фреймворку ROS. Потрібно встановити програмне забезпечення для зручної роботи з Clover. Можливо підключення до Clover по Wi-Fi.

Мова програмування. Для розробки програмного забезпечення, для визначення інтенсивності руху на ділянці дороги, був вибраний python, як мова програмування. Python має ефективні структури даних високого рівня та простий, але ефективний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування. Елегантний синтаксис Python, динамічна обробка типів, а також те, що це інтерпретована мова, роблять її ідеальною для написання скриптів та швидкої розробки прикладних програм у багатьох галузях на більшості платформ.

Середовище розробки. Як середовище розробки було обрано Visual Studio Code – редактор вихідного коду, розроблений Microsoft для Windows, Linux та macOS. Позиціонується як «легкий» редактор коду для крос-платформної розробки веб- та хмарних програм. Включає в себе відладчик, інструменти для роботи з Git, підсвічування синтаксису, IntelliSense та засоби для ре-факторингу. Має широкі можливості. Розробляється як програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом.

Бібліотеки для проекту. Для розробки програмного забезпечення використані такі бібліотеки:

- OpenCV (Open Source Computer Vision Library), бібліотека, написана мовою високого рівня (C/C++), містить алгоритми для: інтерпретації зображень, калібрування камери за зразком, усунення оптичних спотворень, визначення подібності, аналіз переміщення об'єкта, визначення форми об'єкта та стеження за об'єктом, 3D-реконструкція, сегментація об'єкта, розпізнавання жестів тощо; ця бібліотека дуже популярна завдяки своїй відкритості та можливості безкоштовного використання; фактично – це набір типів даних, функцій, класів для обробки зображень алгоритмами комп'ютерного зору;

- Imutils, у цьому пакеті в основному 4 функцій, які зручніші для користувачів, ніж використання бібліотеки OpenCV безпосередньо;

- Matplotlib, бібліотека мовою програмування Python для візуалізації даних двовимірною та тривимірною графікою; отримувати зображення можна використовувати як ілюстрації у публікаціях; пакет підтримує багато видів графіків та діаграм;

Dlib, бібліотека C++ для машинного навчання, яка містить безліч часто використовуваних алгоритмів для машинного навчання; може допомогти створити багато складних програм для машинного навчання; широко використовується в промислових та академічних областях, включаючи роботів, вбудовані пристрої, мобільні телефони та великі високопродуктивні обчислювальні середовища; відкритий вихідний код, безкоштовна.

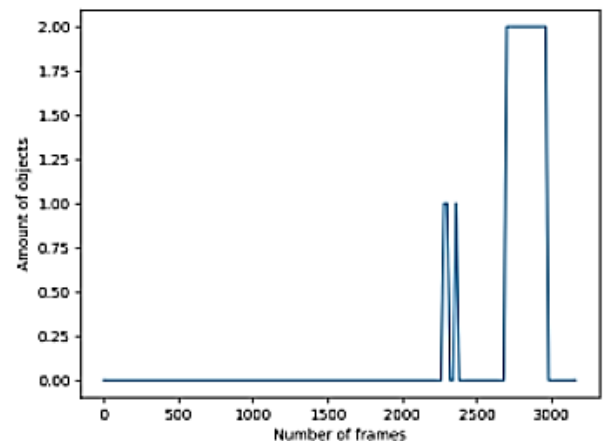
3. Розробка імітаційної моделі

Після підключення бібліотек було розроблено програму моніторингу інтенсивності руху на певній ділянці дороги.

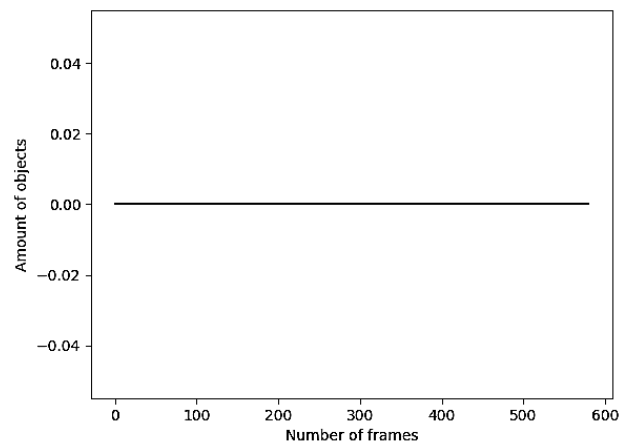
Програма підключається до IP-камери, розпізнає різні види транспорту (рис. 3), зберігає відеозапис і видає звіт (рис. 4), в якому показана кількість різних видів транспорту, що проїхали ділянкою, що досліджується, за певний період часу.



Рис. 3. Приклад розпізнавання транспортної одиниці



а



б

Рис. 4. Зразок звіту (горизонтальна вісь – кількість кадрів, вертикальна вісь – кількість транспортних засобів) час звіту: а – 14.46-14.48 21.02.22, б – 15.01-15.02 22.02.22)

З першого прикладу (рис. 4, а) бачимо, що на 2300 та 2700 кадрах були зафіксовані об'єкти, а також вказана їхня кількість. Другий приклад (рис. 4, б) показує, що за час спостереження об'єктів зафіксовано не було.

Після закінчення виконання програми в кореневій папці програми з'являться 2 файли (рис. 5), з записом з камери у форматі .avi, і зображенням відповідних графіків у форматі .png.

Висновки

Проблеми транспортної системи безпосередньо пов'язані зі зростанням кількості транспортних засо-

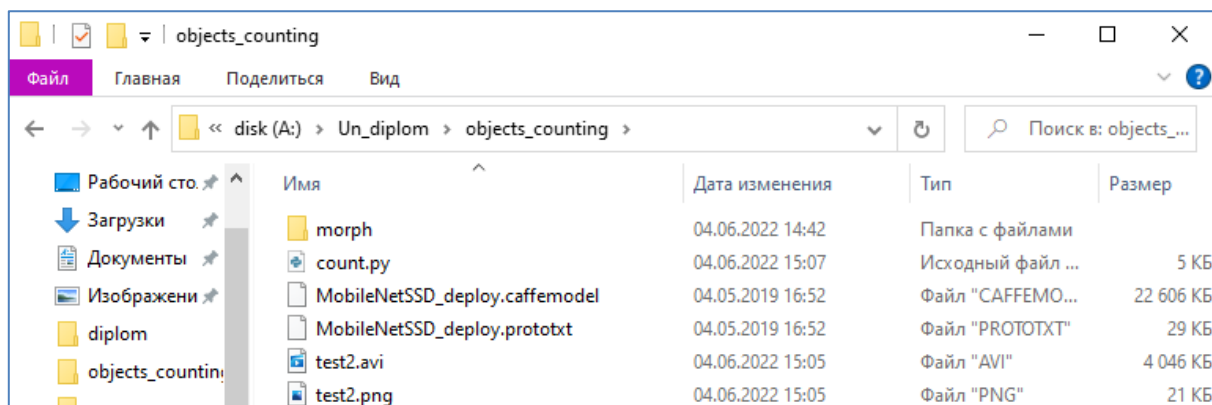


Рис. 5. Приклад кореневої папки програми

бів, що пересуваються містом. Система моніторингу дорожнього руху є ефективною альтернативою для зменшення заторів на дорогах.

Був проведений аналіз технічного забезпечення, що використовується для фіксації об'єктів дорожнього руху, вибрані потрібні програмні засоби та розроблена відповідна програма у обраному середовищі. Також були розглянуті принципи дії детекторів транспортних засобів, що визначають інтенсивність і склад руху, їх недоліки і переваги.

Запропонований у статті програмний комплекс динамічної відеофіксації транспортних засобів при дорожньому русі у мегаполісі дозволить проводити їх ідентифікацію у режимі реального часу.

Напрямок подальших досліджень – розробка системи швидкої динамічної ідентифікації різних видів транспорту, що приймають участь у дорожньому русі, на основі запропонованого підходу до відеофіксації з використанням математичного апарату сучасних нейронних мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтелектуальна система моніторингу дорожнього руху. Київ : НАУ, 2021. URL: <https://nau.edu.ua/ua/menu/science/naukovi-rozrobki/intelektualna-sistema-monitoringu-dorozhnogo-ruxu.html>
2. Matheus S Quessada, Rickson S Pereira, William Revejes (2020), ITSMEI: An intelligent transport system for monitoring traffic and event information, International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 16 (10), pp. 1-13, DOI: <https://doi.org/10.1177/1550147720963751>
3. Myoungyu, Won (2020), "Intelligent Traffic Monitoring Systems for Vehicle Classification: A Survey", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 73.340–73.358, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2987634>
4. Гороховатський, В., & Власенко, Н. (2021). Редукція опису зображення у складі множини дескрипторів на основі метричного критерію інформативності. *Сучасні інформаційні системи*, 5(4), 10–16. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.4.02>
5. Гороховатський, В., Стяглик, Н., & Жадан, О. (2022). Застосування багатокомпонентної моделі даних для описів класів у задачі класифікації зображень. *Сучасні інформаційні системи*, Vol. 6(1), pp. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2022.1.01>
6. Svyrydov, A., Kuchuk, N., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018, pp. 593-597, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201>
7. Худов В.Г., Кучук Г.А., Маковейчук О.М., Крижний А.В. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптикоелектронного спостереження. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 9 (146). С. 77-80.
8. Кір'янов О. Ф., Мороз М. М., Бойко Ю. О. Інформаційні технології на автомобільному транспорті : навч. посіб., Кременчуцький нац. ун-т ім. Михайла Остроградського. Харків : Дркарня Мадрид, 2015. 270 с.

Received (Надійшла) 11.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Dynamic video fixation of transport facilities for the system of monitoring road traffic in the metropolis

N. Kuchuk, O. Mikhal, A. Shiman, M. Naumenko

Abstract. Currently, the traffic monitoring system in the metropolis requires components for the classification of vehicles that can function in real time. However, this task significantly depends on the characteristics and capabilities of the program for dynamic video recording of vehicles. Therefore, the purpose of this article is to develop a program for fast dynamic video recording of vehicles, which will allow to launch in real time the component of the classification of moving vehicles in the traffic monitoring system in the metropolis. The subject of research in the article is the methods of dynamic fixation of vehicles. The object of the study is the traffic process in the metropolis. To achieve the goal, the following research tasks were solved: the analysis of the technical support used to fix traffic objects was carried out, the necessary software tools were selected and the corresponding program was developed in the selected environment. Conclusion. The software package for dynamic video recording of vehicles during road traffic in the metropolis proposed in the article will allow for their identification in real time.

Keywords: road traffic, vehicle, video recording, metropolis.

А. С. Янко, О. І. Макаренко

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

КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ВТОРГНЕНЬ ДО МЕРЕЖІ

Анотація. Виявлення та запобігання мережевих атак є одним з найважливіших завдань системи безпеки мережі. Дана стаття присвячена захисту комп'ютерних мереж від атак, вторгнень та несанкціонованого доступу. Особлива увага приділяється принципу роботи мережевих систем виявлення та запобігання вторгнень. Розглянуто поведінкову аналітику користувачів і об'єктів UEBA для виявлення порушень в області безпеки. На прикладі центру безпеки Azure досліджується інтелектуальні засоби безпеки і розширення аналітики для швидкого виявлення загроз і зменшення кількості неправдивих оповіщень. На основі розглянутої концепції виявлення та запобігання вторгнень можливо побудувати ефективну систему сповіщення за захисту мереж.

Ключові слова: активний мережевий сенсор, інформаційна безпека, комп'ютерна мережа, мережеві системи виявлення вторгнень, несанкціонований доступ, система запобігання вторгнень.

Вступ

Виявлення мережевих атак є в даний момент одним з найбільш гострих проблем безпечного застосування корпоративних мереж. Масштабні епідемії мережевих черв'яків, автоматизовані засоби пошуку вразливості мереж – усе це робить забезпечення безпеки локальних мереж дуже трудомісткою справою. Зараз важко знайти мережу, в якій відсутні такі активні засоби попередження атак як антивірус, брандмауер, системи попередження та виявлення вторгнень. На жаль, одних активних засобів відображення атак недостатньо. Тому, на додаток до них застосовують пасивні засоби боротьби з атаками – мережеві системи виявлення вторгнень.

Мережеві системи виявлення вторгнень (МСВВ) переглядають увесь мережевий трафік (чи трафік певної ділянки мережі) і при виявленні яких-небудь відхилень у ньому сигналізують про це. Формальні МСВВ використовують сигнатурні правила – пакети, що потрапляють на сенсори, порівнюються з БД сигнатур і, у разі виявлення збігу, оголошується тривога. На жаль, навіть формальних МСВВ стає недостатньо для надійного захисту мережі. За даними CERT, кількість відомих нових методів вторгнення тільки за 2010 рік перевищила 25000. Це означає, що в середньому, щодня з'являється близько 70 нових атак. Фізично неможливо оновлювати БД сигнатур формальних МСВВ за такі проміжки часу. Крім того, збільшення об'єму сигнатур негативно позначається на продуктивності систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних дослідженнях спостерігаються два підходи до створення систем захисту інформації. Перший підхід передбачає реалізацію заходів, спрямованих на запобігання несанкціонованим впливам порушника на інформаційну сферу комп'ютерної мережі. При цьому підході до структури системи включаються міжмережеві екрани, засоби контролю доступу та аналізу захищеності [1, 2]. Другий підхід ґрунтується на виявленні факту несанкціонованого проникнення порушника, а також на локалізації місця та встановлення джерела впливу. Основу структури системи складають засоби виявлення несанкціо-

ваних впливів, здатних фіксувати спроби порушення інформаційної безпеки на початковому етапі їх розвитку.

В розглянутих підходах відсутні засоби, які б одночасно поєднували у собі всі інформаційні характеристики систем захисту мережі. Для створення інтегрованих систем захисту з усіма функціональними характеристиками вище розглянутих підходів, доцільно включити до структури системи наступні компоненти: засоби виявлення несанкціонованого доступу (мережевий сенсор та детектори), засоби аналізу захищеності, спеціалізовані програмно-апаратні засоби захисту тощо.

Метою статті є підвищення інформаційної безпеки комп'ютерних мереж на основі створення надійної мережевої системи виявлення вторгнень, як ефективного елементу інтегрованої системи захисту.

Виклад основного матеріалу

Можливості виявлення. Нинішній ландшафт загроз вимагає нового підходу до систем виявлення, що спирається на традиційну складність тонкого налаштування початкових правил, порогових значень, базових показників. Боротьба з множиною хибних спрацьовувань стає неприйнятною для багатьох організацій.

При підготовці до захисту від зловмисників команда повинна використовувати ряд методів, які включають в себе:

- кореляцію даних з декількох джерел;
- профілізація;
- поведінкова аналітика;
- виявлення аномалій;
- оцінку активності;
- машинне навчання.

Важливо підкреслити, що деякі традиційні засоби управління безпекою, такі як аналіз протоколів та антивірусне ПЗ на основі сигнатур, все ще займають свою нішу на лінії захисту, але призначені для боротьби із застарілими загрозами. Ви не повинні видаляти своє антивірусне програмне забезпечення тільки тому, що воно не володіє можливостями машинного навчання. Це все ще рівень захисту вашого хоста.

З іншого боку, традиційне мислення захисника, яке фокусується тільки на моніторингу користувачів з великими повноваженнями, закінчилося, і у вас більше не може бути такого підходу. Для виявлення поточних загроз необхідно переглядати облікові записи усіх користувачів, профілювати їх і розуміти звичайну поведінку.

Діючі суб'єкти загроз намагатимуться скомпрометувати звичайного користувача, залишитися в мережі і продовжувати вторгнення шляхом подальшого поширення і збільшення привілеїв. З цієї причини у вас мають бути механізми виявлення, які могли б ідентифікувати таку поведінку на усіх пристроях, в різних місцях і створювати сповіщення на основі кореляції даних, як показано на рис. 1.

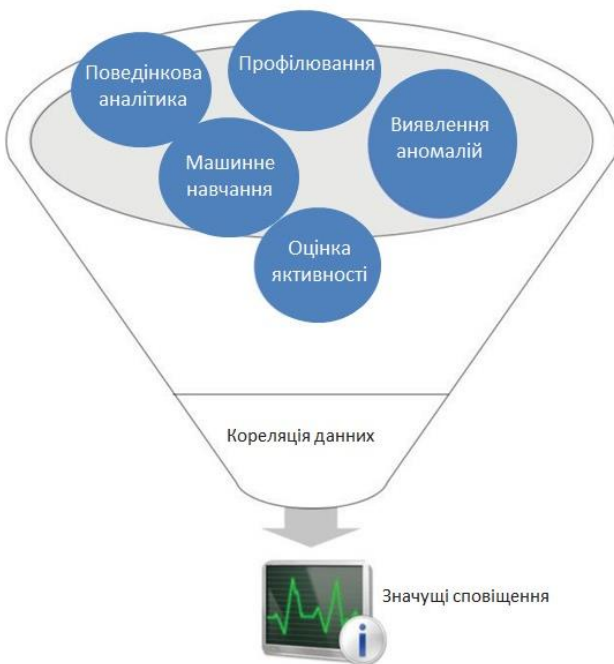


Рис. 1. Процес кореляції даних та сповіщення

Коли контекстуалізуються дані, то природним чином зменшується кількість хибних спрацьовувань, що дає значущий результат для системи безпеки.

Індикатори компрометації. Говорячи про виявлення, важливо згадати про індикатори компрометації. Коли нові загрози виявляються в природному середовищі, у них зазвичай є якийсь поведінковий шаблон і вони залишають свій слід в системі жертви.

Наприклад, програма-вимагач Petya виконала наступні команди в цільовій системі, щоб перепланувати перезапуск:

```
schtasks /Create /SC once /TN "" /TR "  
 <systemfolder>shutdown.exe /r /f" /ST <time>  
 cmd.exe /c schtasks /RU "SYSTEM" /Create /SC once  
 /TN "" /TR "C:Windows\system32shutdown.exe /r /f" /ST  
 <time>
```

Ще одним індикатором дії цієї програми є скасування локальної мережі через порти TCP 139 і TCP 445. Це важливі ознаки того, що в цільовій системі відбувається атака, а винуватець – Petya. Сис-

теми знаходження зможуть збирати ці індикатори компрометації і видавати сповіщення при здійсненні атаки. Використовуючи Azure Security Center як приклад, через деякий час після виявлення загрози Petya центр автоматично оновлює свій механізм захисту і може попередити користувачів про те, що їх комп'ютер був скомпрометований, як показано на рис. 2.

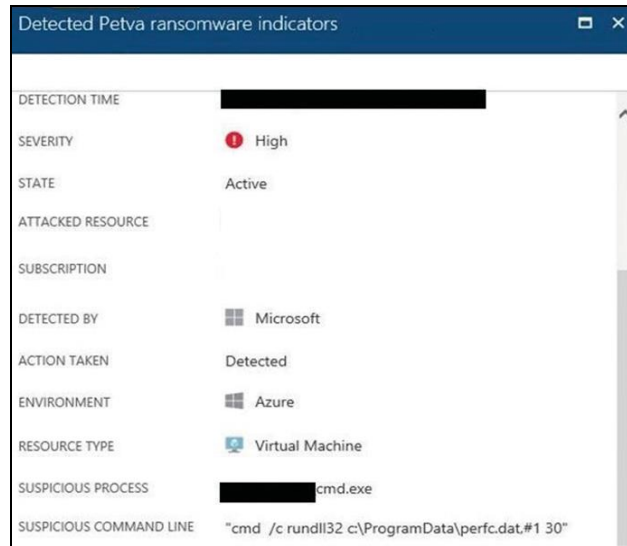


Рис. 2. Виявлення вірусу Petya за допомогою Azure Security Center

Ви можете зареєструватися на сайті OpenIOC (<http://openioc.org>), щоб отримати інформацію про нові індикатори, а також внести свій вклад в суспільство.

Використовуючи IOCEditor (зверніться до довідкового розділу, де вказаний URL-адреса, з якої його можна завантажити), ви можете створити свій власний індикатор або проглянути вже існуючий.

Система виявлення вторгнень. Як впливає з назви, система виявлення вторгнень (СВВ, Intrusion Detection System – IDS) відповідає за виявлення потенційного вторгнення та ініціацію сповіщення. Що можна зробити з цим сповіщенням, залежить від політики системи виявлення [3]. При створенні політики СВВ необхідно відповісти на наступні питання:

- Хто повинен контролювати СВВ?
- У кого має бути доступ з правами адміністратора СВВ?
- Як оброблятимуться інциденти на основі сповіщень, згенерованими СВВ оцінку активності?
- Яка політика оновлення СВВ?
- Де треба встановити СВВ?

Це лише деякі приклади первинних питань, які повинні допомогти в плануванні прийняття СВВ. При пошуку СВВ також можна звернутися до списку постачальників в ICSA Labs (www.icsalabs.com) для отримання додаткової інформації про постачальника.

Незалежно від бренду типова система виявлення вторгнень володіє можливостями, показаними на рис. 3.

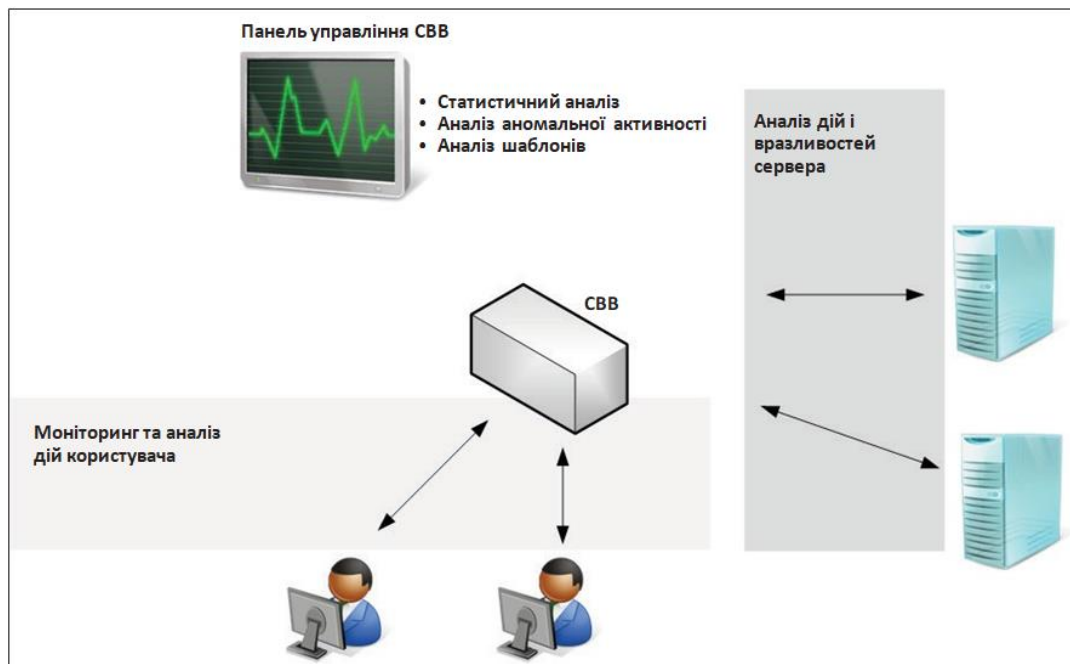


Рис. 3. Схема СВВ

Хоча це основні можливості, кількість функцій насправді залежатиме від постачальника і методу, використовуваного СВВ. Система виявлення вторгнень на базі сигнатур проситиме базу даних про сигнатури (слідах) вже відомих атак і відомих системних вразливостей, щоб перевірити, чи являється те, що було виявлено, загрозою і чи повинне спрацювати сповіщення. Оскільки це база цих сигнатур, вона вимагає постійного оновлення, щоб мати в розпорядженні останню версію. Ґрунтована на поведінці СВВ працює, створюючи базові шаблони, на основі того, що вона дізналася від системи. Вивчивши нормальну поведінку, стає легше виявляти відхилення.

Система виявлення вторгнень також може базуватися на окремій машині, коли механізм СВВ виявлятиме спробу вторгнення тільки на конкретний хост, або це може бути МСВВ, яка визначає вторгнення для сегменту мережі, в якому встановлена МСВВ. Це означає, що у випадку з МСВВ розміщення стає критично важливим для збору цінного трафіку. Саме тут команда повинна тісно співпрацювати з командою ІТ-інфраструктури, щоб забезпечити установку системи виявлення вторгнень в стратегічно важливих місцях по усій мережі. При плануванні розміщення МСВВ встановить пріоритетність наступних сегментів мережі:

- ДМЗ/периметр;
- основна корпоративна мережа;
- бездротова мережа;
- мережа віртуалізації;
- інші критичні сегменти мережі.

Ці сенсори прослуховуватимуть трафік, а це означає, що вони не споживатимуть надто багато пропускну спроможності мережі.

На рис. 4 наведений приклад розміщення СВВ. Зверніть увагу, що в цьому випадку система виявлення (яка насправді в даному випадку є МСВВ) була додана до кожного сегменту (використовуючи

SPAN-порт на мережевому комутаторі). Система запобігання вторгнень (СЗВ, Intrusion Prevention System – IPS) використовує ту ж концепцію СВВ, але, як випливає з назви, вона запобігає вторгненням, роблячи дії, що коригують. Ці дії будуть налагоджені адміністратором СЗВ.

Подібно до того як СВВ доступна для хостів (ХСВВ) і мережі (МСВВ), СЗВ так само доступна для хостів (ХСЗВ) і мережі (МСЗВ). Розміщення МСЗВ у вашій мережі має вирішальне значення, і тут застосовані ті ж рекомендації, що були згадані раніше. Також слід розглянути можливість розміщення МСЗВ відповідно до трафіку, щоб при необхідності робити коригуючі дії. СЗВ зазвичай може працювати в одному або декількох з наступних режимів: на основі правил або на основі аномалій.

Виявлення на основі правил. При роботі в цьому режимі СЗВ порівнює трафік з набором правил і намагається перевірити, чи відповідає трафік правилу. Це дуже корисно, коли вам потрібно розгорнути нове правило, щоб заблокувати спробу експлуатації вразливостей.

Системи МСЗВ, такі як Snort, здатні блокувати загрози, використовуючи виявлення на основі правил [4].

Наприклад, правило Snort Sid 1-42329 здатне виявити різновид Win.Trojan.Doublepulsar.

Правила Snort знаходяться тут: etc/snort/rules, а інші правила можна завантажити за адресою <https://www.snort.org/downloads/#rule-downloads>.

Іноді для нейтралізації загрози потрібно декілька правил. Наприклад, правила 42340 (спроба доступу до IPC-ресурсу анонімного сеансу протоколу SMB), 41978 (спроба видаленого виконання коду протоколу SMB) і 42329-42332 (різновид Win.Trojan.Doublepulsar) можуть бути використані для виявлення програми-вимагача WannaCry.

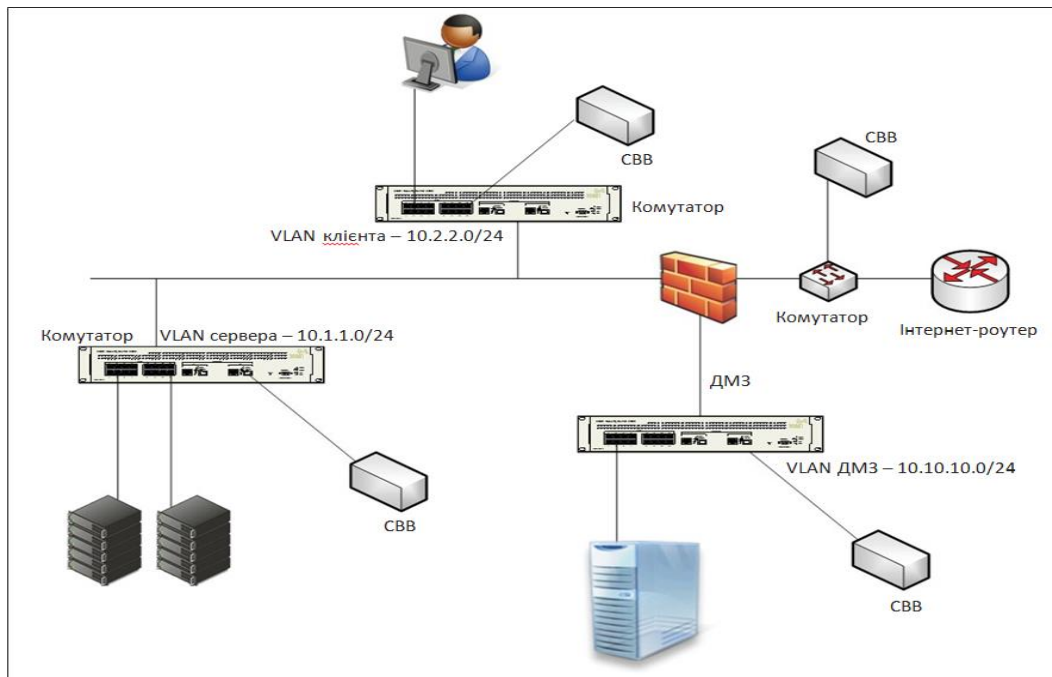


Рис. 4. Схема СЗВ

Перевага використання МСЗВ з відкритим початковим кодом, такий як Snort, полягає в тому, що коли нова загроза стає доступною в мережі, співтовариство зазвичай досить швидко реагує, публікуючи нове правило для виявлення загрози. Наприклад, коли був виявлений вірус-вимагач Petya, співтовариство створило правило і розмістило його на GitHub (його можна побачити тут: <https://goo.gl/mLtnFM>). Хоча постачальники і співтовариство безпеки дійсно швидко публікують нові правила, ви повинні стежити за новими індикаторами компрометації і створювати правила МСЗВ на їх основі.

Виявлення на основі аномалій. В цьому випадку аномалія ґрунтована на тому, що СЗВ класифікує як аномальне. Ця класифікація зазвичай ґрунтована на евристиці або зведенні правил. Один з варіантів – статистичне виявлення аномалій, при якому беруться вибірки мережевого трафіку у випадкові моменти часу і виконується порівняння з базовим станом. Якщо цей зразок виходить за межі базового стану, вирушає сповіщення з подальшою дією.

Поведінкова аналітика всередині організації. Для переважної більшості компаній, що знаходяться на ринку нині, основний бізнес як і раніше здійснюється усередині організації. Це місце, де знаходяться критично важливі дані, працюють більшість користувачів та знаходяться ключові ресурси. Як ви знаєте, ми розглядали стратегії атаки в першій частині цієї книги.

У зловмисників існує тенденція мовчки проникати у вашу локальну мережу, поширюватися далі, підвищувати привілеї і підтримувати зв'язок з командно-контрольним сервером, поки він не зможе виконати свою місію. З цієї причини наявність аналітики поведінки потрібна, щоб швидко розірвати життєвий цикл атаки [5].

На думку компанії Gartner, дуже важливо зрозуміти, як поведуться користувачі. Відстежуючи легітимні процеси, організації можуть використати поведінкову аналітику користувачів і об'єктів (User and Entity Behavior Analytics – UEBA) для виявлення порушень в області безпеки. Використання UEBA для виявлення атак дає багато переваг, але одними з найбільш важливих є можливість виявлення атак на ранніх етапах і вжиття заходів, що коригували, для стримування атаки.

На приведеному нижче рис. 5 показаний приклад того, як UEBA переглядає різні об'єкти, щоб прийняти рішення, повинно спрацювати сповіщення або ні.

Без системи, яка може дивитися усі дані в широких масштабах і робити кореляції не лише за шаблоном трафіку, але і за профілем користувача, шанси неправдивого спрацювання зростають. Наприклад, коли є система UEBA усередині організації. Система знає, до яких серверів зазвичай звертаються користувачі, які ресурси відвідують, яку операційну систему використовують для доступу до цих ресурсів, а також їй відоме географічне місце розташування користувачів. На рис. 6 показаний приклад цього типу виявлення, отриманого від Advanced Threat Analytics (ATA) компанії Microsoft, яка використовує поведінкову аналітику для виявлення підозрілої поведінки. Зверніть увагу, що в цьому випадку повідомлення досить чітке. В ньому говориться, що адміністратор не виконував ці дії минулого місяця, в результаті дані не корелюють з іншими обліковими записами в організації.

Це попередження не можна ігнорувати, тому що воно контекстуалізовано, а це означає, що аналізує дані, зібрані під різними кутами, щоб виконати зіставлення і прийняти рішення про те, чи треба видавати сповіщення чи ні.

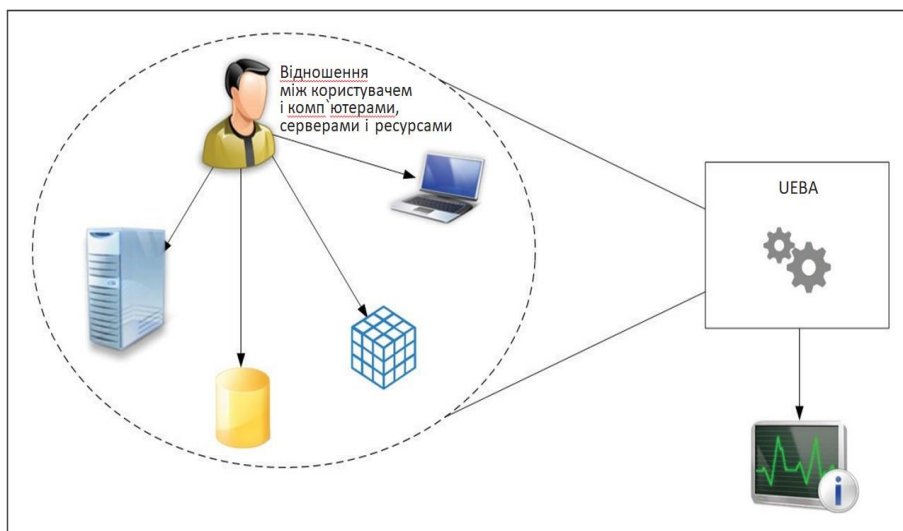


Рис. 5. Принцип роботи UEBA

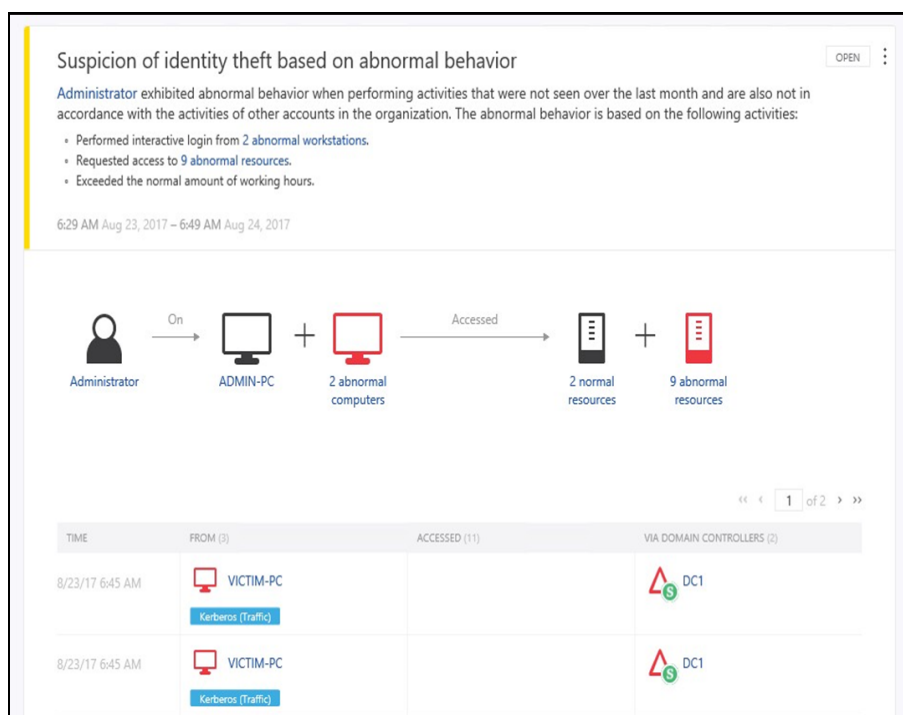


Рис. 6. Виявлення підозрілої поведінки користувача

Система UEBA всередині організації може допомогти команді проявити велику активність і отримати відчутніші дані для точного реагування. Система UEBA складається з декількох модулів, і ще один модуль - це розширене виявлення загроз, яке шукає відомі уразливості і шаблони атак. На рис.7. показано, як Microsoft ATA виявляє атаку Pass-the-ticket.

Оскільки існують різні способи виконання цієї атаки, розширене виявлення загроз не може шукати тільки сигнатуру, повинне шукати схему атаки і те, що намагається зробити зловмисник. Це набагато ефективніше, чим використати систему на базі сигнатур.

Також здійснюється пошук підозрілу поведінку, яка йде від звичайних користувачів, які не повинні виконувати певні завдання. Наприклад, якщо

звичайний користувач намагається запустити NetSess.exe в локальному домені, Microsoft ATA розглядає це як перебір SMB-сесій, що, з точки зору зловмисника, як правило, здійснюється на етапі розвідки. З цієї причини Microsoft ATA видає попередження про намагання користувача запустити NetSess.exe.

Зловмисники не лише будуть використовувати вразливості, але і скористаються помилковими конфігураціями в системі, на яку вони націлилися, такими як неправильна реалізація протоколу і відсутність захисту. З цієї причини система UEBA також виявить системи, в яких відсутня безпечна конфігурація. На рис. 8 показано, як Microsoft ATA виявляє службу, що надає доступ до облікових даних акаунту, оскільки вона використовує протокол LDAP без шифрування.

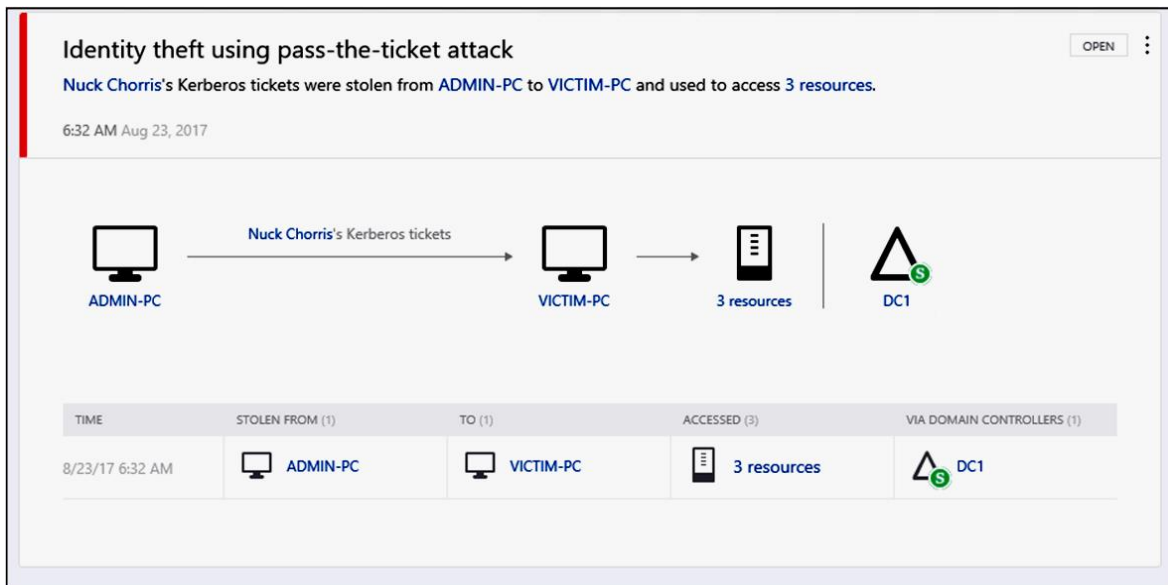


Рис. 7. Виявлення атаки Pass-the-ticket за допомогою Microsoft ATA

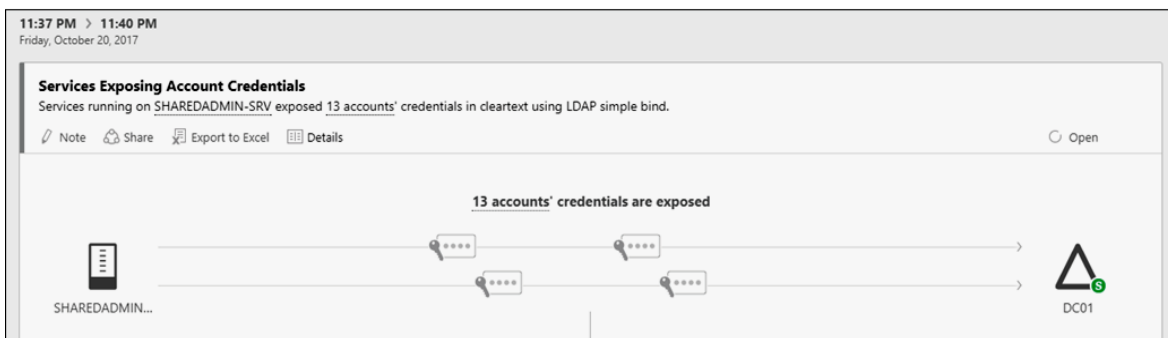


Рис. 8. Попередження програми Microsoft ATA

Центр безпеки Azure. Центр безпеки використовує інтелектуальні засоби безпеки і розширену аналітику для швидшого виявлення загроз і зменшення кількості неправдивих спрацьовувань. В іде-

алі будите використовувати систему одного вікна для візуалізації сповіщень і підозрілих дій на усі робочих навантаженнях. Основна топологія виглядає аналогічно тій, що показана на рис. 9.

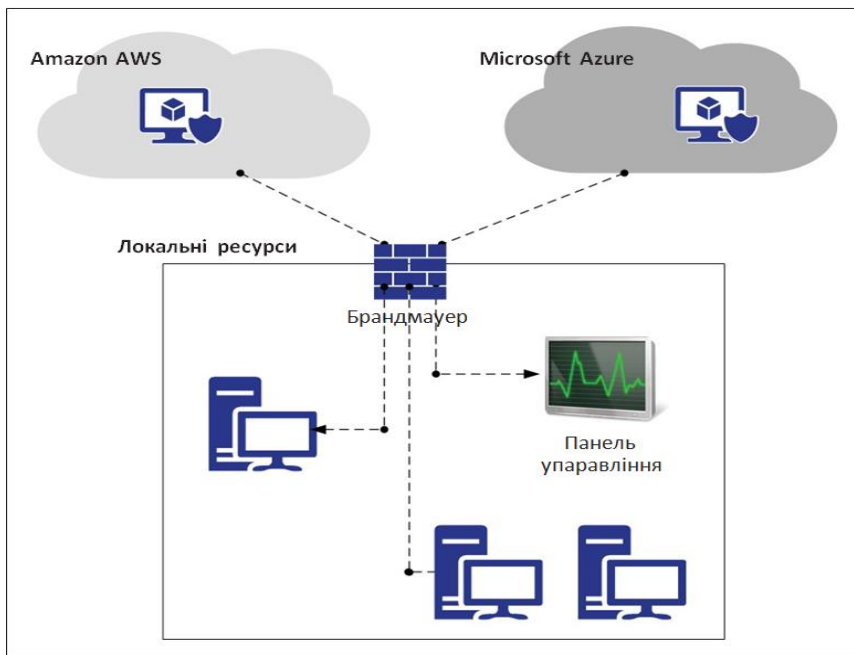


Рис. 9. Топологія Microsoft Azure

Коли центр безпеки буде встановлений на цих комп'ютерах, він збиратиме:

- трасування ETW (Event Tracing for Windows),
 - події журналів операційної системи,
 - запущені процеси,
 - ім'я комп'ютера,
 - IP-адреси,
- зарєстрованих користувачів.

Ці події вирушають в Azure і зберігаються у

вашому особистому сховищі робочого простору. Центр безпеки проаналізує ці дані, використовуючи такі методи, як:

- кіберрозвідка;
- поведінкова аналітика;
- виявлення аномалій.

Після оцінки цих даних Центр безпеки запустить сповіщення на основі пріоритету і додасть це на панель моніторингу, як показано на наведеному нижче рис. 10.



Рис. 10. Панель сповіщень Azure

Зверніть увагу що перше сповіщення має інший значок і називається Security Incident Detected (виявлений інцидент у сфері безпеки).

Відбувається це тому, що він був ідентифікований, а дві або більше атаки є частиною однієї і тієї ж компанії, спрямованої проти певного ресурсу.

Це означає, що, центр безпеки збирає дані з метою знайти взаємозв'язок між подіями, він робить це автоматично і надає відповідні сповіщення для аналізу.

Коли натиснути на це сповіщення, з'явиться наступне вікно (рис. 11).

У нижній частині цієї сторінки видно усі три атаки (в порядку їх виникнення) на VM1 і рівень серйозності, призначений центром безпеки.

Приведемо одно важливе спостереження відносно переваги використання поведінкової аналітики для виявлення загроз. Йдеться про третє по рахунку сповіщення Multiple Domain Accounts Queried (Запит

декількох облікових записів домена). Команда, яка була виконана, щоб видати це сповіщення: `netuser<username>/domain`.

Проте, щоб прийняти рішення про те, що це виглядає підозріло, необхідно подивитися на нормальну поведінку користувача, який виконав цю команду, і зіставити цю інформацію з іншими даними, які при аналізі в контексті будуть віднесені до категорії підозрілих. Як видно з цього прикладу, хакери використовують вбудовані системні інструменти та інтерфейс типу «native» командного рядка для виконання своєї атаки. З цієї причини вкрай важливо мати в наявності інструмент логування викликів з командного рядка.

Центр безпеки також використовуватиме статистичне профілювання для побудови традиційних базових показників і сповіщення про відхилення, які відповідають потенційному вектору атаки. Це корисно у багатьох сценаріях.

Security incident detected
Incident Detected

Continue investigation

DESCRIPTION The incident which started on 2017-10-15T05:40:20Z and most recently detected on 2017-10-15T06:26:13Z indicate that an attacker has attacked other resources from your virtual machine VM1

DETECTION TIME Sunday, October 15, 2017 12:40:27 AM

SEVERITY 1 High

STATE Active

ATTACKED RESOURCE VM1

SUBSCRIPTION

DETECTED BY Microsoft

ENVIRONMENT Azure

REMEDIATION STEPS

1. Escalate the alert to the information security team.
2. Review the remediation steps of each one of the alerts

Alerts included in this incident

DESCRIPTION	COUNT	DETECTION TIME	ATTACKED RESOURCE	SEVERITY
Successful RDP brute force attack	1	10/15/17 12:55 AM	VM1	1 High
Suspicious SVCHOST process executed	1	10/15/17 01:00 AM	VM1	1 Low
Multiple Domain Accounts Queried	1	10/15/17 01:04 AM	VM1	1 Low

Рис. 11. Інформація про сповіщення в Azure

Типовий приклад – відхилення від нормальної діяльності.

Наприклад, припустимо, що хост запускає підключення по RDP 3 рази в день, але в певний день робиться сотня спроб. Коли таке відхилення відбувається, має бути видане сповіщення, щоб попередити про це.

Ще одним важливим аспектом роботи з хмарним сервісом є вбудована інтеграція з іншими постачальниками.

Центр безпеки може інтегруватися з багатьма іншими рішеннями, такими як Barracuda, F5, Imperva і Fortinet для брандмауера веб-застосувань, серед інших для захисту кінцевих точок, оцінки вразливостей і брандмауера наступного покоління.

Приведене на рис. 12 зображення показує приклад такої інтеграції.

Зверніть увагу, що це сповіщення було згенероване Deep Security Agent, і оскільки воно інтегровано з центром безпеки, то відобразиться на тій же панелі моніторингу, що і інші події, виявлені центром безпеки.

Треба запам'ятати, що центр безпеки – це не єдине рішення, яке здійснюватиме моніторинг сис-

тем та інтегруватиметься з іншими постачальниками. Існує безліч SIEM (Security Information and Event Management) – рішень для забезпечення безпеки інформації і управління подіями, таких як Splunk і LogRhythm, які виконуватимуть моніторинг аналогічного типу.

Висновки

Виявлення та запобігання мережових атак є одним з найважливіших завдань системи безпеки мережі.

В даній статті було розглянуто різні типи механізмів виявлення вторгнень та наведені переваги їх використання.

Також детально проаналізовано системи запобігання вторгнень, які працюють на основі правил та аномалій.

В якості прикладу було використано Microsoft ATA та центр безпеки Azure, що був використаний в якості гібридного рішення для поведінкового аналізу користувачів комп'ютерної мережі.

На основі розглянутої концепції виявлення та запобігання вторгнень можливо побудувати ефективну систему сповіщення за захисту мереж.



Рис. 12. Сповіщення від Deep Security Agent

Список літератури

1. Широчин В. П., Мухін В. Є., Кулик А. В. Питання проектування засобів захисту інформації в комп'ютерних системах та мережах. Київ; «СТОЛІТТЯ+». 2000. – 111 с.
2. Ганієв С. К., Карімов М. М. «Питання оптимального сегментування топології локальних комп'ютерних мереж».- Ташкент, Проблеми інформатики та енергетики, 2001 № 2.-С.20-25.
3. Stephen Northcutt, Judy Novak. Network Intrusion Detection: An Analysts Handbook Third Edition, 2001. – 384 p.
4. Michael Collins. Network Security Through Data Analysis: From Data to Action 2nd Edition, 2017. – 428 p.
5. Yuri Diogenes, Erdal Ozkaya. Cybersecurity – Attack and Defense Strategies, 2020. – 326 p.

Received (Надійшла) 10.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.05.2022

Concept of the system of detection and prevention of networks

О. Makarenko, А. Yanko

Abstract. Detecting and preventing network attacks is one of the most important tasks of a network security system. It is now difficult to find a network that does not have such active attack prevention tools as antivirus, firewall, intrusion prevention and detection systems. Unfortunately, active means of repelling attacks alone are not enough. Therefore, in addition, passive means of combating attacks are used - network intrusion detection systems. Therefore, this article is devoted to protecting computer networks from attacks, intrusions and unauthorized access. Particular attention is paid to the principle of operation of network systems for detection and prevention of intrusions. This article discusses the different types of intrusion detection mechanisms and the benefits of their use. Intrusion prevention systems that operate on the basis of rules and anomalies are also analyzed in detail. Behavioral analytics of UEBA users and objects for detection of security breaches are considered. As an example, we used Microsoft ATA and Azure Security Center, which was used as a hybrid solution for behavioral analysis of computer network users. The example of the Azure Security Center explores intelligent security tools and the expansion of analytics to more quickly detect threats and reduce the number of false alarms. Based on the considered concept of detection and prevention of intrusions, it is possible to build an effective notification system for network protection.

Keywords: active network sensor, information security, computer network, network intrusion detection systems, unauthorized access, intrusion prevention system.

К. Е. Петров, І. В. Кобзев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕВАЖНОСТІ СПОЖИВЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОВАРУ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ЙОГО ВИБІР ПОКУПЦЕМ

Анотація. **Актуальність.** Одним з найактуальніших завдань сучасного маркетингу є виявлення та аналіз споживчих уподобань переваг, які впливають на вибір товару покупцем. **Завдання.** У роботі запропоновано метод визначення переваг споживчих характеристик товару, що базується на застосуванні декомпозиційного підходу. На основі інформації про рейтинг популярності марок товарів серед покупців, вирішується завдання визначення часткової корисності для кожної характеристики, і потім, відтворюється структура переваг покупця за всіма споживчими властивостями, які характеризують марки товару, що вивчаються. **Результати.** В рамках аксіоматики теорії багатокритеріальної корисності (МАУТ) розроблено метод середньої точки для вирішення завдання визначення "вагових" коефіцієнтів відносної важливості споживчих властивостей товарів, що базується на ідеях теорії компараторної ідентифікації. Внаслідок застосування запропонованого методу можна отримати єдине стійке рішення задачі. Показано, що в цьому випадку завдання визначення переваг споживчих характеристик можна привести до стандартної задачі лінійного програмування, розв'язування якої не представляє принципових труднощів. Отримані у ході застосування запропонованого методу значення відносних "ваг" споживчих характеристик дозволяють порівнювати їх між собою за ступенем важливості ("корисності") для покупця і, таким чином, вибрати "найважливішу" з них або провести їх ранжування. Наведено результати комп'ютерного моделювання, що підтверджують ефективність застосування методу. **Висновок.** Практична значимість результатів роботи полягає в тому, що запропонований метод до визначення переваг споживачів дозволить маркетологам точно позиціонувати товар на ринку, активно застосовувати "таргетовану" рекламу для видачі релевантних рекомендацій покупцям, а також створювати нові марки товарів з найбільш затребуваними характеристиками для підвищення обсягів продажів.

Ключові слова: споживчі уподобання, теорія корисності, компараторна ідентифікація, декомпозиційний підхід, функція корисності.

Вступ

Невід'ємною частиною успішного ведення бізнесу є пошук постійних переваг над конкурентами. Підвищення конкурентоспроможності тісно пов'язане, зокрема, і з всебічним вивченням поведінки споживачів на ринку.

По суті, споживча поведінка [1] – це узагальнююче поняття для факторів та процесів, які визначають економічні дії покупця у процесі придбання та споживання товару.

Базуючись на особливостях споживчої поведінки [1, 2], компанії вибудовують свою маркетингову політику, встановлюють ціни, визначають характеристики та асортимент товарів, а також способи їх просування.

Слід констатувати, що у теперішній час, немає єдиного універсального підходу до вивчення поведінки покупця [3]. Щоб зрозуміти, чого саме хоче споживач, як саме він здійснює покупку і для чого використовує товар, тобто "проникнути в його голову", аналітики застосовують велику кількість різних методів.

Вербальний опис базової моделі споживчої поведінки [3] можна представити так: покупець здійснює вибір (з представленого на ринку асортименту) максимально корисного і цікавого товару (з точки зору його споживчих характеристик), враховуючи при цьому свої матеріальні можливості. При цьому передбачається, що кожен споживач поводиться раціонально, тобто здатний дати оцінку можливим наслідкам прийнятих ним рішень.

Компанії, що пропонує товар на ринку важливо знати, які з його споживчих властивостей найважли-

віші для покупця. Ця інформація може бути використана для залучення нових покупців та підвищення рівня продажів, що призведе до збільшення прибутку компанії. Тому розробка методів вирішення цієї проблеми є дуже актуальною.

1. Аналіз сучасних досліджень у галузі виявлення переваг споживачів

Споживач, пред'являючи попит на ті чи інші товари, прагне отримати від їх придбання найбільшу користь, тобто максимізувати сукупну корисність. При цьому він стикається з певними обмеженнями, пов'язаними з величиною свого наявного доходу і рівнем ринкових цін. Ці обмеження змушують споживача робити вибір між різними марками товарів.

У теперішній час для пояснення поведінки споживача використовуються два основні теоретичні підходи. Це теорія граничної корисності (кардиналістський підхід) [4] та аналіз кривих байдужості (ординалістський підхід) [4].

В основі цих теорій лежить низка таких припущень.

1. Основою споживчого вибору є корисність товару, величину якої можна якимось чином виміряти.

2. Усі покупці мають у своєму розпорядженні повну, достовірну та актуальну інформацію, необхідну їм для здійснення процесу вибору та прийняття рішень про придбання товару.

3. Споживачі завжди обирають товари, які мають більшу корисність.

Споживач розглядає будь-який товар як набір властивостей. При цьому, він схильний надавати різну значимість властивостям, які вважає актуаль-

ними для себе. Вважається, що кожній властивості покупець приписує деяку функцію корисності, яка визначає ступінь очікуваної задоволеності кожною окремою властивістю. Остаточне ставлення до кожної товарної альтернативи складається у споживача в результаті проведеної оцінки всього набору властивостей товару.

Для отримання узагальненої оцінки корисності товарів певного типу для споживачів зазвичай використовуються методи, що ґрунтуються на застосуванні композиційного та декомпозиційного підходів [4].

Композиційний підхід [4] полягає у визначенні значень узагальненої корисності на основі вимірювань значущості та корисності певних (часткових) характеристик товару, отриманих шляхом вивчення думок споживачів, що враховують їх індивідуальні уподобання. На основі цієї інформації проводиться "згорання" оцінок корисності за окремими частковими характеристиками товару в деяку узагальнену, інтегральну оцінку.

Основними методами, що використовуються при реалізації цього підходу є різні опитування, інтерв'ю, анкетування, за допомогою яких покупців спонукають до структурування та усвідомлення мотивів та переваг при виборі товару (так звані активні експерименти). Ці методи отримання інформації досить суб'єктивні, трудомісткі, дорогі, сильно корельовані зі складом групи споживачів, у якій проводиться дослідження, мотивацією споживачів, а також з методикою проведення дослідження.

Застосування декомпозиційного підходу [4], на відміну від композиційного, починається з визначення переважності для споживача товарів певного типу, сукупності характеристик яких заздалегідь відомі. А вже потім знаходяться значення цих часткових корисностей для кожної характеристики, що лежать в основі цих переваг. Для конкретного покупця узагальнена корисність товару певного типу дорівнює сумі значень її часткових корисностей. Часткові корисності асоціюються як із важливістю кожної окремої характеристики, так і з її значенням для кожного товару. Для реалізації декомпозиційного підходу зазвичай використовується метод спостереження за поведінкою покупців (пасивний експеримент), у ході якого реєструються їх реакції на різні марки товару, які можуть бути описані за допомогою набору значень однотипних часткових властивостей, що характеризують певну групу товарів. Таким чином, інформація, яка отримана від споживачів, зводиться до ранжування переваг щодо марок товару, що розглядаються. Далі, на основі цієї інформації, вирішується завдання визначення часткової корисності для кожної характеристики, і потім, відтворення структури переваг покупця за всіма споживчими властивостями, що характеризують марки товару, які вивчаються.

Метод спостереження позбавлений значної частини тих недоліків, які притаманні активним експериментам, оскільки не передбачає безпосереднього контакту з покупцями, проте дозволяє оперувати

зі значно меншим обсягом інформації, що отримана від них.

Розглянуті вище підходи не є взаємовиключними і можуть бути плідно використані (окремо чи разом) в залежності від цілей досліджень, що проводяться.

Актуальність розробки методів визначення споживчих переваг при виборі товару покупцем підтверджується великою кількістю публікацій, в яких розглядаються питання, що пов'язані з вирішенням низки практичних завдань. Так, у [6] розглядається задача побудови теоретичної моделі для вивчення споживчих характеристик кросівок в'єтнамських брендів та намірів їх покупки; в [7] – пропонується метод прогнозування популярності он-лайн курсів у Китаї на основі аналізу переваги їх атрибутів для користувачів; в [8] – підхід до оцінки поведінки покупців під час обирання транспортних засобів з урахуванням неоднорідності їх переваг з урахуванням використання логіт-моделі випадкових параметрів; в [9] – метод визначення оцінок споживачів декількох марок упакованих фрикадельок, отриманих на основі аналізу їх характеристик; в [10, 11] – можливості використання методів прогнозування оцінок переважності товарів для покупця в рекомендаційних системах.

Таким чином, задача визначення споживчих переваг для правильного формування пропозиції товарів, що відповідають їм, є актуальною.

Метою даного дослідження є розробка методу визначення переважності споживчих характеристик товару на основі декомпозиційного підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- розробити метод визначення коефіцієнтів відносної важливості ("вагових" коефіцієнтів) споживчих властивостей товару, які впливають на його вибір покупцем, що базується на ідеях теорії компараторної ідентифікації [12];

- провести експериментальну перевірку працездатності запропонованого методу.

2. Постановка завдання дослідження

Споживачам пропонується до розгляду деяка обмежена множина товарів різних марок однакового функціонального призначення (наприклад, мобільні телефони, автомобільні покривки тощо) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, кожен з яких описується набором різномірних часткових характеристик

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i) \rangle, \quad i = \overline{1, n}.$$

Ці характеристики достатньо повно відображають якість, надійність, функціональні властивості, безпеку, економічність тощо товару, що пропонується та, крім того, допускають їх об'єктивне кількісне вимірювання.

Нехай відома інформація про рейтинг популярності, що отримана на основі статистики продажу товару кожної марки $x_i \in X$ для певного сегменту споживачів. Необхідно визначити відносну переважність (важливість) споживчих характеристик

$k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i)$ товару для покупців на основі інформації про зроблені ними вибори тієї чи іншої марки товару з множини X .

3. Метод визначення відносної важливості для покупця споживчих характеристик товару

Теорія поведінки споживача [1, 2, 3] передбачає, що кожній марці товару $x_i, i = \overline{1, n}$ з множини X можна поставити у відповідність деяку узагальнену оцінку $P(x_i)$, яка виражає ступінь "корисності" цього товару для покупця.

У свою чергу, оцінка $P(x_i)$ може бути отримана на основі використання ідей теорії багатокритеріальної корисності (Multi Attribute Utility Theory – MAUT) [13]. У ній передбачається, що є деяка функція корисності альтернативи, яка залежить від часткових критеріїв.

Формально це означає, що таку оцінку, в загальному вигляді, можна представити у вигляді деякої функції корисності наступним чином:

$$P(x_i) = F[A, K(x_i)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де $A = \langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$ – кортеж параметрів (коефіцієнти відносної важливості часткових характеристик товару $K(x_i)$).

У межах теорії раціональної поведінки [4] передбачається, що споживач обирає "найкращу" марку товару (альтернативу), тобто ту, яка найбільш корисна для нього.

Отже, споживач із усіх можливих альтернативних варіантів $x_i \in X, i = \overline{1, n}$ обирає марку товару $x^0 \in X$ з максимальним значенням функції корисності, тобто

$$x^0 = \arg \max_{x_i \in X} P(x_i). \quad (2)$$

Декомпозиційний підхід передбачає спостереження за поведінкою споживача без втручання у процес вибору і пояснення його причин.

У результаті цього спостереження можна зафіксувати лише поведінку споживачів, яка проявляється у виборі однієї з марок товарів.

На основі цієї інформації необхідно визначити важливість для споживача тих чи інших часткових характеристик товару (тобто їх відносних "вагових" коефіцієнтів A).

Вирішення цього завдання потребує розвитку принципово нового методу визначення параметрів A функції корисності (1). Такий метод можна розробити на основі використання ідей теорії компаративної ідентифікації [12].

В рамках MAUT обґрунтовується використання двох форм функцій узагальненої корисності $P(x_i)$ – адитивної та мультиплікативної [14].

Для цілей нашого дослідження найбільше підходить адитивна форма представлення функції корисності альтернативи, яка має вигляд [15]:

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^m a_j k_j^H(x_i), \quad (3)$$

де $0 < a_j < 1, j = \overline{1, m}$ – часткові шкалюючі параметри (коефіцієнти ізоморфізму), що фактично виражають відносну важливість ("вагу") для споживача часткових критеріїв $k_j(x_i), j = \overline{1, m}$, які характеризують альтернативи (товари) $x_i \in X$; $k_j^H(x_i)$ – однокритеріальна функція корисності, що характеризує оцінку товару $x_i \in X$ за частковим критерієм $k_j(x_i)$ і задовольняє умові нормування $0 \leq k_j^H(x_i) \leq 1, j = \overline{1, m}$.

Умова

$$\sum_{j=1}^m a_j = 1$$

дозволяє визначити відносні "вагові" коефіцієнти часткових критеріїв у звичній шкалі від 0 до 1, що в принципі наочно демонструє на скільки (або у скільки разів) один частковий критерій важливіший за інший та "вклад" кожного критерію у загальну оцінку товару. При цьому мультиплікативна функція не дає додаткових переваг при її використанні.

Таким чином, надалі значення параметрів $a_j, j = \overline{1, m}$ багатокритеріальних оцінок $P(x_i), i = \overline{1, n}$ визначатимемо виходячи з адитивної форми (3) представлення функції корисності.

Аксіоматика MAUT передбачає, що для функції корисності $P(x_i)$ виконуються такі співвідношення при порівнянні різних марок товарів [13]:

– якщо товар x_i краще для покупця ніж x_j , тобто $x_i \succ x_j$, то

$$P(x_i) > P(x_j); \quad (4)$$

– якщо товари x_i та x_j еквівалентні, тобто $x_i \sim x_j$, то

$$P(x_i) = P(x_j), \quad \forall x_i, x_j \in X, \quad i \neq j. \quad (5)$$

У загальному випадку, споживчі характеристики товару

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_m(x_i) \rangle$$

є різномірними і до цього мають різну фізичну розмірність, не співпадаючі інтервали виміру і напрям домінування.

Для побудови функцій корисності $k_j^H(x_i), j = \overline{1, m}$ за кожною характеристикою та проведення нормування їх значень скористаємося формулою [16]:

$$k_j^H(x_i) = \frac{k_j(x_i) - k_j^-(x_i)}{k_j^+(x_i) - k_j^-(x_i)}, \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де $k_j(x_i)$ – дійсне (абсолютне) значення j -ої характеристики; $k_j^-(x_i)$ та $k_j^+(x_i)$ – відповідно його "найгірше" та "найкраще" значення в залежності від напрямку домінування.

При цьому $k_j^H(x_i) \in [0, 1]$ й меншому його значенню відповідатиме "найгірше" абсолютне значення характеристики товару.

Враховуючи прийнятий спосіб нормування характеристик, коефіцієнти $A = \langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$ стають безрозмірними та виконують такі функції: масштабують скалярну багатокритеріальну оцінку альтернативи $P(x_i)$, тобто визначають інтервал її можливих значень та враховують різну важливість ("вагу") для споживача характеристик товару.

Для того, щоб значення $P(x_i)$ варіювалися в інтервалі $[0, 1]$, достатньо щоб виконувались умови:

$$a_j \in [0, 1], \quad j = \overline{1, m}; \quad \sum_{j=1}^m a_j = 1. \quad (7)$$

Розглянемо метод визначення значень "вагови" коефіцієнтів кортежу A характеристик $K(x_i)$ на основі інформації про рейтинг популярності товарів різних марок серед покупців, що отримана від них у процесі аналізу їх покупок (виборів товару з деякої множини представлених їм альтернатив).

Нехай, наприклад, на основі аналізу статистики продажів чотирьох марок товару x_1, x_2, x_3, x_4 отримано інформацію про переваги споживачів (рейтинг популярності) в наступному вигляді: $x_2 \succ x_4 \succ \{x_1 \sim x_3\}$.

Тоді, в цьому випадку, враховуючи (3) – (5), можна записати систему лінійних обмежень, яка має вигляд:

$$\begin{cases} P(x_2) > P(x_4) \\ P(x_4) > P(x_1) \\ P(x_1) = P(x_3) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} P(x_2) - P(x_4) > 0 \\ P(x_4) - P(x_1) > 0 \\ P(x_1) - P(x_3) = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Ця система виділяє опуклий багатогранник на гіперплощині (7) і будь-яка точка, що лежить усередині є допустимим рішенням.

Отже, задача визначення коефіцієнтів відносної важливості характеристик

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$$

є некоректною за визначенням Тихонова [17], оскільки вона не має єдиного розв'язку. Щоб отримати єдиний розв'язок необхідно доповнити вихідну задачу деяким регуляризуючим співвідношенням [17]. Так як у нашому випадку відсутня додаткова інформація, що дозволяє висунути об'єктивну гіпотезу про вид цього регуляризуючого виразу, виходитимемо з евристичного припущення, що шуканий розв'язок має знаходитися в центральній області багатогранника допустимих значень коефіцієнтів A , що визначаються системою обмежень (7) і (8). Аргументом на користь вибору саме такого розв'язку може

бути те, що це підвищить його стійкість за можливих змін меж багатогранника при надходженні нових даних.

Для визначення єдиного розв'язку задачі пропонується використати метод середньої точки. Розглянемо його реалізацію на прикладі (8).

Спочатку визначаються точкові граничні значення допустимої множини кожного з параметрів $a_j, j = \overline{1, m}$.

Для цього система обмежень (8) перетворюється таким чином:

$$\begin{cases} P(x_2) - P(x_4) \geq 0 \\ P(x_4) - P(x_1) \geq 0 \\ P(x_1) - P(x_3) \geq 0 \\ -P(x_1) + P(x_3) \geq 0 \end{cases}. \quad (9)$$

У системі (9) знаки ">" замінені на "≥" і рівність $P(x_1) - P(x_3) = 0$ представлено у вигляді двох нерівностей $P(x_1) - P(x_3) \geq 0$ та $-P(x_1) + P(x_3) \geq 0$. Зміна знаків обмежень не вплине на розв'язок задачі, оскільки воно знаходиться у внутрішній області багатогранника, який описується системою (7) та (9), а не на його межах.

Обмеження (9) з урахуванням (3) можуть бути записані таким чином:

$$P(x_r) - P(x_s) \equiv \sum_{j=1}^m a_j [k_j^H(x_r) - k_j^H(x_s)] \geq 0, \\ \forall x_r, x_s \in X, \quad r \neq s, \quad (10)$$

де $a_j, j = \overline{1, m}$ задовольняють умовам (7).

Далі система обмежень (7), (9) послідовно доповнюється регуляризуючими цільовими функціями, які мають вигляд [18]:

$$a_j \rightarrow \min, \quad j = \overline{1, m}, \quad (11)$$

$$a_j \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, m}. \quad (12)$$

У результаті отримуємо $2m$ задач, кожна з яких є задачею лінійного програмування (ЛП) з цільовою функцією (11) або (12) та системою обмежень (7), (9).

Розв'язання всіх цих задач, наприклад, симплекс-методом, дозволяє отримати кортеж інтервальних значень a_j , тобто $A = \langle [a_j^{\min}, a_j^{\max}], j = \overline{1, m} \rangle$.

На основі цих значень, для кожного інтервалу $[a_j^{\min}, a_j^{\max}]$ знаходиться $j = \overline{1, m}$ його середина:

$$a_j^{cp} = \frac{a_j^{\min} + a_j^{\max}}{2}, \quad j = \overline{1, m},$$

де a_j^{\min}, a_j^{\max} – межі інтервалу допустимих значень a_j , що виходячи з (7), (9), (11) або (12). Мінімальне a_j^{\min} та максимальне a_j^{\max} значення співпадають з вершинами багатогранника допустимих значень і

тому a_j^{cp} центровано відносно його вершин. Для забезпечення виконання умови

$$\sum_{j=1}^m a_m = 1$$

далі проводиться нормалізація кожного з значень a_j^{cp} за формулою:

$$a_j = a_j^{cp} - \left(\sum_{w=1}^N a_w^{cp} - 1 \right) \frac{\Delta a_j}{\sum_{w=1}^N \Delta a_j}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (13)$$

де $\Delta a_j = a_j^{\max} - a_j^{\min}$ – величина інтервалу.

Таким чином, в результаті застосування методу середньої точки отримаємо точкові значення кортежу відносних вагових коефіцієнтів споживчих характеристик товарів $A = \langle a_1, a_2, \dots, a_m \rangle$.

Це дозволить зробити висновки про відносну важливість тих чи інших споживчих характеристик для покупця.

Запропонований вище підхід до регуляризації задачі (7), (9) природно не є єдиним. Наприклад, у роботі [19] пропонується метод регуляризації, що ґрунтується на обчисленні чебишевської точки, а в роботі [20] – для цього використовується генетичний алгоритм.

4. Ілюстративний приклад застосування розробленого методу

Для ілюстрації працездатності запропоновано-го методу визначення відносної важливості споживчих параметрів товару розглянемо наступний приклад.

Нехай є інформація про рейтинг продажів 8 марок смартфонів $X = \{x_1, x_2, \dots, x_8\}$.

Ці дані отримані від одного з найпопулярніших торгових інтернет-майданчиків України та знаходяться у відкритому доступі.

Дані містять інформацію про найбільш популярні смартфони, що мають 8-ми ядерні процесори та ціну до 10000 грн (табл. 1).

Кожен смартфон описується дев'ятьма споживчими характеристиками (табл. 1):

$k_1(x_i)$ – ціна (у грн. – чим менше, тим краще);

$k_2(x_i)$ – діагональ екрану (у дюймах – чим більше, тим краще);

$k_3(x_i)$ – роздільна здатність екрану (у пікселях – чим більше, тим краще);

$k_4(x_i)$ – частота оновлення екрану (у Гц – чим більше, тим краще);

$k_5(x_i)$ – частота роботи процесора (у ГГц – чим більше, тим краще);

$k_6(x_i)$ – роздільна здатність камери смартфона (у Мп – чим більше, тим краще);

$k_7(x_i)$ – обсяг оперативної пам'яті (у ГБ – чим більше, тим краще);

$k_8(x_i)$ – обсяг внутрішньої пам'яті (у ГБ – чим більше, тим краще);

$k_9(x_i)$ – ємність акумулятора (у мАг – чим більше, тим краще).

У табл. 1 представлені 8 моделей смартфонів у порядку зменшення їхньої переважності для покупців, тобто

$$x_1 \succ x_2 \succ \dots \succ x_8. \quad (14)$$

На основі цієї інформації необхідно визначити відносну важливість для споживачів характеристик смартфонів

$$K(x_i) = \langle k_1(x_i), k_2(x_i), \dots, k_9(x_i) \rangle.$$

Нормовані за формулою (6) значення характеристик смартфонів представлені у табл. 2.

Відповідно до інформації про переваги споживачів (14) та принципів (4) – (5), а також з урахуванням формули (6) та умов (7), система обмежень задачі може бути записана наступним чином:

$$P(x_1) - P(x_2) \geq 0, \quad P(x_2) - P(x_3) \geq 0, \\ P(x_7) - P(x_8) \geq 0, \quad (15)$$

$$a_j \geq 0, \quad j = \overline{1, 9}; \quad \sum_{j=1}^9 a_j = 1.$$

В результаті обчислення середньої точки для системи лінійних обмежень (15) отримаємо кортеж значень

$$A = \langle a_1, a_2, \dots, a_9 \rangle$$

відносних вагових коефіцієнтів споживчих характеристик смартфонів (рядок a_j у табл. 2).

Таблиця 1 – Значення характеристик марок смартфонів

x_i	Марка смартфона	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
x_1	Xiaomi Redmi Note 9 Pro	6499	6.67	1080	120	2.30	64	6	128	5020
x_2	Motorola Moto G60	7499	6.80	1080	120	2.30	108	6	128	6000
x_3	Xiaomi Redmi 9C	3899	6.53	720	60	2.30	13	3	64	5000
x_4	ZTE Blade A51	2999	6.52	720	60	1.60	13	2	32	3200
x_5	Samsung Galaxy A12	4599	6.50	720	60	2.00	48	4	64	5000
x_6	Huawei P Smart 2021	5499	6.67	1080	60	2.00	48	4	128	5000
x_7	Poco X3 Pro	8499	6.67	1080	120	2.96	48	8	256	5160
x_8	Realme 8 Pro	8699	6.40	1080	60	2.30	108	8	128	4500

Таблиця 2 – Нормовані значення характеристик смартфонів

x_i	$k_1^H(x_i)$	$k_2^H(x_i)$	$k_3^H(x_i)$	$k_4^H(x_i)$	$k_5^H(x_i)$	$k_6^H(x_i)$	$k_7^H(x_i)$	$k_8^H(x_i)$	$k_9^H(x_i)$
x_1	0.39	0.68	1.00	1.00	0.51	0.54	0.67	0.43	0.65
x_2	0.21	1.00	1.00	1.00	0.51	1.00	0.67	0.43	1.00
x_3	0.84	0.33	0.00	0.00	0.51	0.00	0.17	0.14	0.64
x_4	1.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x_5	0.72	0.25	0.00	0.00	0.29	0.37	0.33	0.14	0.64
x_6	0.56	0.68	1.00	0.00	0.29	0.37	0.33	0.43	0.64
x_7	0.04	0.68	1.00	1.00	1.00	0.37	1.00	1.00	0.70
x_8	0.00	0.00	1.00	0.00	0.51	1.00	1.00	0.43	0.46
a_j	0.473	0.054	0.025	0.079	0.071	0.056	0.103	0.074	0.064

Усі результати отримано з використанням програмного засобу MathCad 14.

Таким чином, рейтинг споживчих характеристик смартфонів (у порядку зменшення їх важливості), що впливають на вибір покупців, виглядає так:

$k_1(x_i)$ – ціна ($a_1 = 0.473$),

$k_7(x_i)$ – обсяг оперативної пам'яті ($a_1 = 0.103$),

$k_4(x_i)$ – частота оновлення екрану ($a_1 = 0.079$),

$k_8(x_i)$ – обсяг внутрішньої пам'яті ($a_1 = 0.074$),

$k_5(x_i)$ – частота роботи процесора ($a_1 = 0.071$),

$k_9(x_i)$ – ємність акумулятора ($a_1 = 0.064$),

$k_6(x_i)$ – роздільна здатність камери смартфона ($a_1 = 0.056$),

$k_2(x_i)$ – діагональ екрану ($a_1 = 0.054$),

$k_3(x_i)$ – роздільна здатність екрану ($a_1 = 0.025$).

5. Обговорення та висновки

Вивчення поведінки споживачів на ринку та виявлення їх переваг при виборі товарів є одним із найактуальніших завдань маркетингу.

На основі зібраної інформації та подальшому її аналізі, компанії проводять свою маркетингову політику, встановлюють ціни, визначають споживчі характеристики та асортимент товарів, а також способи їх просування.

У роботі запропоновано метод визначення переважності споживчих характеристик товару для покупця, що базується на застосуванні декомпозиційного підходу до оцінки корисності товарів.

Основою цього методу є ідеї теорії компаративної ідентифікації, використання яких дозволяють отримати кількісні відносні оцінки важливості ("вагові" коефіцієнти) споживчих характеристик товару на основі інформації про його вибір покупцями.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність застосування запропонованого методу.

Наукова новизна роботи полягає в наступному: вперше запропоновано метод отримання відносних кількісних оцінок важливості споживчих характеристик товарів для покупця, який відрізняється від існуючих можливістю використання будь-якої інформації про відношення порядку на множині альтернатив (марок товару), що дає можливість отримувати адекватні результати навіть при невеликому обсязі даних.

Головною перевагою методу є те, що "вагові" коефіцієнти характеристик можуть бути отримані тільки на основі інформації, що отримана в ході спостереження за покупцем (пасивний експеримент) – у разі вибору ним "найкращої" марки товару, або в ході активного експерименту, коли покупець ранжує усі або частину марок товарів у порядку їх переважності.

На користь застосування саме такого підходу свідчать численні дослідження, результати яких показали, що людина більш точно виконує операцію порівняння, ніж кількісне вимірювання (приписування числових оцінок).

Практична значимість результатів роботи полягає в тому, що запропонований метод до визначення переваг споживачів дозволить маркетологам точно позиціонувати товар на ринку, активно застосовувати "таргетовану" рекламу для видачі релевантних рекомендацій покупцям, а також створювати нові товари з найбільш затребуваними характеристиками для підвищення обсягів продажів.

Перспективи подальших досліджень полягають у доповненні представленого методу можливістю обліку кількісних статистичних показників розподілу кількості виборів покупцями конкретних марок товару, а також у всебічній апробації розробленого методу визначення переваг споживачів під час вирішення різних практичних завдань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Rajagopal R.* Consumer Behavior: External Factors: Analyzing Consumer Behavior to Drive Managerial Decision Making. Contemporary Marketing Strategy. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 35–63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11911-9_2.
2. *Rajagopal R.* Consumer Behavior: Internal Factors: Analyzing Consumer Behavior to Drive Managerial Decision Making. Contemporary Marketing Strategy. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 3–33. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11911-9_1.

3. Барден Ф. Взлом маркетинга. Наука о том, почему мы покупаем. К.: Форс. 2021. 304 с.
4. Moscati I. Measuring utility: from the marginal revolution to behavioral economics. New York, Oxford University Press. 2018. 326 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199372768.001.0001>.
5. Решетилова Т. Процесс исследования потребительских характеристик инновационного товара // Маркетинг в Україні. 2017. №5-6. С 56–63.
6. Ha T. M. The impact of product characteristics of limited-edition shoes on perceived value, brand trust and purchase intention // Cogent Business & Management. 2021. Vol. 8.Iss. 1. <https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1953680>.
7. Tang R. Research on Consumer Preferences in Online Courses. // 3-rd International Conference on Data Science and Business Analytics (ICDSBA-2019). 2019. P. 147-151. <https://doi.org/10.1109/ICDSBA48748.2019.00039>.
8. Shabanpour R., Mousavi S. N. D., Golshani N., Auld J., Mohammadian A. Consumer preferences of electric and automated vehicles // 5-th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS-2017). 2017. P. 716-720. <https://doi.org/10.1109/MTITS.2017.8005606>.
9. Syarif I. H., Pawana N. I., Meilia Z. D. H., Laksmi D. Consumer Preferences In Purchasing Packaged Meatball Products // Proceedings of the International Conference on Science and Technology (ICST-2018). 2018. P. 594-603. <https://doi.org/10.2991/icst-18.2018.123>.
10. Gao T., Li X., Chai and Y., Tang Y. Deep learning with consumer preferences for recommender system // International Conference on Information and Automation (ICIA-216). 2016. P. 1556-1561. <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2016.7832066>.
11. Петров К. Э., Кобзев И. В. Прогнозирование предпочтений пользователей на основе анализа их действий // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. 2018. № 1 (90). С. 97–101.
12. Петров К. Э., Крючковский В. В. Компараторная структурно-параметрическая идентификация моделей скалярного многофакторного оценивания. Херсон: Олди-плюс. 2009. 294 с.
13. Dyer, J. S. Multiattribute utility theory (MAUT). Multiple criteria decision analysis. International Series in Operations Research & Management Science. New York: Springer. 2016. P. 285–314. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_8.
14. Keeney R. L., Raiffa, H. Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs. Cambridge: Cambridge University Press. 1993. 569 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174084>.
15. Petrov K., Kobzev I., Orlov O., Kosenko V., Kosenko A., Vanina Y. Devising a method for identifying the model of multi-criteria expert estimation of alternatives // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4 № 3 (112). P. 56–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238020>.
16. Петров Э.Г., Крючковский В.В., Петров К.Э. Нормативная формализация процесса принятия решений в условиях многокритериальности и интервальной неопределенности // Проблемы информационных технологий: зб. наук. пр. Херсонського національного технічного університету. 2014. № 1(15). С. 7 – 13.
17. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1986. 288 с.
18. Петров К.Э., Дейнеко А.А., Чалая О.В., Панферова И.Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания // Радиоэлектроника, Информатика, Управление: науч. журнал. 2020. № 2 (53). С. 84–94. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-9>.
19. Ovezgeldyev A. O., Petrov K. E. Modeling individual multifactor estimation using GMDH elements and genetic algorithms // Cybernetics and Systems Analysis. 2007. Vol. 43. P. 126–133. <https://doi.org/10.1007/s10559-007-0031-0>.
20. Ovezgeldyev A. O., Petrov, K. E. Fuzzy-interval choice of alternatives in collective expert evaluation. Cybernetics and Systems Analysis. 2016. Vol. 52. p. 269–276. <https://doi.org/10.1007/s10559-016-9823-4>.

Received (Надійшла) 23.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

Method for determining the preference of consumer characteristics of a product based on information about its choice by the buyer /

Konstantin Petrov, Igor Kobzev

Abstract. Topicality. One of the most urgent tasks of modern marketing is to identify and analyze consumer preferences that affect the choice of goods by the buyer. **Task.** In the paper proposes a method for determining the preference of consumer characteristics of a product, which is based on the application of the decomposition approach. Based on the information about the popularity rating of brands of goods among buyers, the problem of determining the private utility for each characteristic is solved, and then, the structure of the buyer's preferences is reconstructed for all consumer properties that characterize the studied brands of goods. **Results.** Within the framework of the axiomatics of the theory of multicriteria utility (MAUT), a midpoint method has been developed to solve the problem of determining the "weight" coefficients of the relative importance of consumer properties of goods, which is based on the ideas of the theory of comparative identification. As a result of applying the proposed method, its can obtain a unique stable solution to the problem. It is shown that in this case, the problem of determining the preference of consumer characteristics can be reduced to a standard linear programming problem, the solution of which does not present fundamental difficulties. The values of the relative "weights" of consumer characteristics obtained during the application of the proposed method make it possible to compare them with each other in terms of importance ("usefulness") for the buyer and, thus, to choose the "most important" of them or to rank them. The results of computer modeling are presented, which confirm the effectiveness of the method. **Conclusion.** The practical significance of the results of the work lies in the fact that the proposed method for determining consumer preferences will allow marketers to more accurately position a product on the market, actively use "targeted" advertising to issue relevant recommendations to customers, and also create new products with the most demanded characteristics to increase sales.

Keywords: consumer preferences, utility theory, decomposition approach, comparative identification, utility function.

І. Ю. Петровська, Г. А. Кучук

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

РОЗПОДІЛ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ

Анотація. У статті розглянуто класифікацію існуючих технологій надання хмарних послуг. Для кожної технології визначено переваги та недоліки. Також визначено характерні особливості хмарних обчислень, які необхідно враховувати при розподілі ресурсів. Визначено, що у всіх технологіях враховуються тільки необхідні обсяги процесорного ресурсу, оперативної пам'яті та місця у сховищі даних. При цьому не враховується специфіка роботи застосунків. Також не враховується розділення ресурсів між різними додатками. Таким чином, не завжди має місце вибір оптимального ресурсу для розміщення заявок клієнтів. Це часто призводить до істотного зниження продуктивності додатків. Крім того, неефективно використовується хмарний ресурс. Існуючі підходи та методи розподілу ресурсів не враховують усіх особливостей хмарних обчислень. Це може призвести до неефективного використання хмарної інфраструктури. Тому **метою даної статті** є визначення характерних рис хмарних обчислень, які необхідно буде враховувати при розподілі ресурсів. Завдання полягає в забезпеченні рівномірного розподілу навантаження на всі хмарні сервери. У результаті проведеного аналізу доведено, що технологія IaaS є найбільш уразливою до якості розподілу ресурсів. Визначено необхідний набір показників для технології IaaS, які необхідно враховувати при розподілі ресурсів.

Ключові слова: хмарні технології, хмарні ресурси, оптимальний розподіл ресурсів.

Вступ

Розвиток інформаційного суспільства змінило уявлення користувачів про надання інформаційних сервісів. На перший план виходять не технічні характеристики послуг, а якісні показники. До них відносяться своєчасне задоволення потреб бізнесу, простота використання, швидкість виконання типових операцій та ін. У зв'язку з цим дедалі більшої популярності набувають хмарні обчислення (англ. cloud computing). Крім того, додатковим стимулом стали епідемія COVID-19 та агресія Росії у 2022 році. Хмарні обчислення – це можливість надання обчислювального ресурсу через Інтернет. При цьому обов'язкові такі характеристики [1]: **самообслуговування на вимогу**, споживач самостійно визначає та змінює обчислювальні потреби, такі як серверний час, швидкості доступу та обробки даних, обсяг даних, що зберігаються, без взаємодії з представником постачальника послуг; **універсальний доступ по мережі**, послуги доступні споживачам по мережі передачі даних незалежно від термінального пристрою, що використовується; **об'єднання ресурсів**, постачальник послуг об'єднує ресурси обслуговування великої кількості споживачів у єдиний пул для динамічного перерозподілу мощностей між споживачами за умов постійного зміни попиту потужності; при цьому споживачі контролюють лише основні параметри послуги (наприклад, обсяг даних, швидкість доступу); фактичний розподіл ресурсів, що надаються споживачеві, здійснює постачальник (у деяких випадках споживачі таки можуть керувати деякими фізичними параметрами перерозподілу, наприклад, вказувати бажаний центр обробки даних з міркувань географічної близькості); **еластичність**, послуги можуть бути надані, розширені, звужені будь-якої миті часу, без додаткових витрат; **облік споживання**, постачальник послуг автоматично обчислює спожиті ресурси на певному рівні абстракції (наприклад, обсяг даних, що зберігаються, пропускна спроможність, кількість користувачів, кількість транзакцій); на основі цих даних він оцінює обсяг наданих споживачам послуг.

Виконання цих вимог суттєво впливає на розподіл ресурсів у хмарній інфраструктурі. У науковій літературі розглядається багато методів розподілу ресурсів в інформаційних та обчислювальних структурах. У статті [2] автор пропонує алгоритм random swap clustering. Однак він суттєво втрачає ефективність при застосуванні для хмарних інфраструктур. При проведенні оптимального розподілу пропускних здібностей для самовідновлювального (англ. self-healing) сегменту комп'ютерної мережі в [3] специфіка хмарних складових системи не розглядається. Методи, запропоновані у [4], орієнтовані тільки на мобільні компоненти. ЇВ [5] більшою мірою враховуються особливості рухомих об'єктів, а не характеристики cloud computing. У статті [6] розглядаються методи розподілу ресурсів, що відсуюють на другий план часові показники, роблячи акцент на безпекових питаннях. Праці [7, 8] спрямовані тільки на специфіку Big Data. Стаття [9] орієнтована тільки на системи, що обробляють відеозображення. А в [10] акцент зроблено тільки на специфічні застосунки.

Однак розглянуті підходи та методи розподілу ресурсів не враховують усіх особливостей хмарних обчислень. Це може призвести до неефективного використання хмарної інфраструктури. Тому метою даної статті є визначення характерних рис хмарних обчислень, які необхідно буде враховувати при розподілі ресурсів.

Також необхідно виділити технології надання хмарних послуг, які є найбільш вразливими при неоптимальному розподілі або перерозподілі ресурсів.

1. Класифікація технологій надання хмарних послуг

На сьогодні технології надання хмарних послуг можна поділити на такі типи, які визначаються відповідними моделями хмарних послуг: IaaS, інфраструктура як послуга; PaaS, платформа як послуга; SaaS, програмне забезпечення як послуга; SaaS, розрахункові обчислення як сервіс).

За технологією на базі моделі обслуговування IaaS споживач отримує інформаційно-технологічні

ресурси – віртуальні сервери з певною обчислювальною потужністю та обсягами пам'яті, тобто повне Software та віртуальне Hardware. Провайдер забезпечує фізичне Hardware (обладнання). Він встановлює на нього Software для створення віртуальних машин, але не займається установкою і підтримкою Software (програмне забезпечення) користувача. Провайдер контролює тільки фізичну та віртуальну інфраструктуру, яку надає клієнтові у віртуальному вигляді за допомогою хмарних серверів. Зазвичай, клієнтами IaaS є системні адміністратори компаній.

У випадку використання технології на базі моделі обслуговування PaaS хмарний провайдер надає доступ до операційних систем, засобів розробки і тестування, систем управління базами даних, тобто тільки до системного та прикладного Software. Провайдер контролює не тільки сервери, системи зберігання даних і обчислювальні потужності, але також пропонує користувачеві на вибір певні платформи і засоби управління ними. Найбільш часто дану технологію використовують розробники Software.

Хмарна модель SaaS є найпоширенішою серед клієнтів хмарних провайдерів. У відповідній технології програми та сервіси розробляє і обслуговує провайдер, розміщує їх у хмарі і пропонує кінцевому користувачеві через браузер або застосунок на його комп'ютері. Основні клієнти технології SaaS – звичайні користувачі, наприклад, користувачі налагоджених бізнес-застосунків через Інтернет.

Деякі хмарні провайдери надають послуги з використанням технології SaaS. При цьому клієнт отримує обчислювальні ресурси для виконання у хмарі власних застосунків. Зазвичай цю послугу використовують у випадку, якщо власне Hardware неспроможне виконати завдання з якихось причин.

Відповідно, для кожної технології є свої особливості щодо контролю та прогнозування завантаження фізичної та віртуальної інфраструктури хмарного середовища. Це суттєво залежить від рівня доступу користувача до хмарних послуг.

2. Переваги та недоліки технологій надання хмарних послуг

IaaS – це найбільш гнучка модель хмарних послуг із простим процесом розгортання обладнання. IaaS дозволяє підприємствам нарощувати обчислювальні ресурси при необхідності, замість того, щоб купувати дороге обладнання для власної інфраструктури. Вартість IaaS варіюється і в основному залежить від потреб клієнта в CPU та RAM. IaaS — це також економічна модель, у тому числі через високу масштабованість та автоматизацію хмарних послуг. Послуги IaaS актуальні як для стартапів та невеликих компаній, так і для великого бізнесу. Отже, перехід на IaaS заощаджує час та гроші клієнта.

Але слід зазначити, що побудувати готове рішення на базі IaaS за пару годин практично неможливо. Крім того, при наявності власного Hardware немає сенсу орендувати хмарні віртуальні пристрої. В цих випадках переважає платформа PaaS. Подібно до інших хмарних сервісів, PaaS дозволяє клієнтам користуватися сучасними потужними інструментами

розробки, підтримку яких бере на себе провайдер. Платформа як послуга хороша тим, на відміну IaaS, що відразу готова до роботи. За допомогою PaaS підвищується швидкість розробки, тестування та доставки додатків. Отже, технологія PaaS допомагає компаніям різного розміру оптимізувати процес розробки. Наприклад, PaaS може спростити роботу великої команди розробників, які займаються одним і тим самим проектом. Ця технологія є кращою для компаній з існуючою IT-інфраструктурою.

Однак багато дрібних і середніх компаній не мають можливості купувати on-premise-рішення. Крім того, короткострокові проекти, що потребують швидких, простих і доступних рішень, доцільніше реалізовувати самій компанії. У таких випадках найвигідніша технологія SaaS. Віддалена настройка та обслуговування Software провайдером надають компанії-замовнику більше часу для вирішення інших важливих питань та завдань. SaaS-рішення керуються централізовано і розміщуються на віддаленому сервері. Виробник, а не користувач, несе відповідальність за налаштування необхідного обладнання та програмного забезпечення. Найчастіше для роботи SaaS не потрібно завантаження та встановлення Software на пристрій.

У випадку, коли потрібна тимчасова хмарна послуга, найбільш прийнятною є технологія SaaS. Її застосування дозволяє користувачеві доповнити на деякий період власні ресурси за рахунок придбання потрібних віртуальних ресурсів.

Отже, кожна хмарна модель пропонує певні функції та можливості. Коли бізнес має набір конкретних завдань і розуміння переваг різних типів хмарних сервісів, простіше вибрати відповідний. Технологія IaaS дає практично повний контроль за готовою інфраструктурою.

Це дозволяє організації створити стек технологій, повністю адаптований до потреб бізнесу. Підприємства, які вже мають деякі ресурси та IT-відділ, можуть вибрати технологію PaaS. Готова платформа допоможе компаніям розробляти індивідуальні рішення, які легко інтегрувати з існуючими робочими процесами. Технологія SaaS дозволяє підприємствам заощаджувати гроші.

Клієнтам не потрібно самостійно займатися розробкою та підтримкою програмного забезпечення. А за браком ресурсів незамінна технологія SaaS.

Хоча, на перший погляд, ці моделі схожі, SaaS, PaaS та IaaS надають різні рівні послуг, а оптимальне використання ресурсів залежить від використовуваних методів розподілу та перерозподілу ресурсів.

3. Методи розподілу ресурсів у хмарних інфраструктурах

У хмарних інфраструктурах, як і серед віртуалізації, проблема планування та оптимізації використання ресурсів вирішується двома способами: перерозподіл ресурсів адміністратором середовища віртуалізації вручну; автоматичне планування ресурсів за допомогою методів розподіленого виділення ресурсів DRS (Distributed Resource Scheduling) та розподіленого управління енергоспоживанням DPM.

У різних середовищах методи DRS та DPM працюють по-різному, проте логіка роботи зберігається.

Алгоритм роботи DRS у загальному випадку складається з набору простих кроків:

- 1) вибирається найменш навантажений хост серед тих, які мають достатній ресурс;
- 2) під час роботи хостів збирається статистика завантаження CPU на них;
- 3) якщо CPU на одному з хостів протягом встановленого інтервалу навантажено більше за певний поріг, то приймається рішення про перерозподіл ресурсів;
- 4) якщо приймається рішення про перерозподіл ресурсів, то метод DRS або перенесе завдання на більш продуктивний або менш навантажений хост, або перенесе інші завдання інші сервери.

Внаслідок роботи методу DRS вдається оптимально розподілити навантаження між серверами хмарного середовища. Це підвищує як пікову продуктивність хостів, і ефективність використання ресурсів. Однак метод оцінює лише навантаження на CPU і не прогнозує зміну навантаження за іншими параметрами. З цієї причини метод нечасто застосовування в середовищах cloud computing, де адміністратор хмарного обчислювального середовища не може передбачити всіх небажаних наслідків від перерозподілу ресурсів у такий спосіб.

Аналогічно, метод DPM вирішує задачу зниження енергоспоживання, проте не вирішує задачу максимізації ефективного використання наявних ресурсів. Отже існуючі методи не дозволяють оптимально розподіляти та перерозподіляти хмарні ресурси. При цьому якість розподілу суттєво залежить від обраної технології. Результати порівняльного аналізу можливості оптимізації за деякими суттєвими параметрами наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз хмарних технологій

Технологія Параметр	IaaS	PaaS	SaaS	SaaS
Вартість	←	←	←	←
Витрати клієнта на обслуговування	←	←	←	←
Витрати провайдера на обслуговування	←	←	←	←
Можливість перерозподілу ресурсів	–	←	←	←
Прогнозування використання ресурсів	–	←	←	+
Балансування навантаження	–	←	+	+
Можливість оцінки надійності інфраструктури	–	+	+	+

За результатами порівняльного аналізу хмарних технологій можна дійти невтішного висновку, що методи, застосовувані в хмарних обчислювальних середовищах, які завжди дозволяють оптимально розподілити хмарні ресурси. Найбільш ефективно завдання розподілу ресурсів у хмарному середовищі вирішується під час використання технології SaaS.

Суттєвих проблем не виникає і при використанні складніших технологій SaaS та PaaS, хоча є низка особливостей, які перешкоджають використанню методів DRS та DPM у певних сценаріях.

Однак у хмарних обчислювальних середовищах на основі технології IaaS виникають проблеми оптимального планування ресурсів як на етапі їх надання, так і під час використання. Ці проблеми неможливо вирішити вручну, як у простих технологіях.

По-перше, адміністратору хмарної інфраструктури невідомо, які потреби додатків для ефективного їх використання. По-друге, заважає наявність «статичності» платформи – відсутність реакцію зміна потреб у часі.

Отже, у технології IaaS не вирішується завдання оптимального перерозподілу обчислювальних ресурсів у середовищі хмар. Так, наприклад, одне з найбільш популярних в даний час рішень з управління хмарною інфраструктурою OpenStack, підтримує всього 3 методи виділення ресурсів: випадковий, випадковий у межах зони доступності та простий (виділення ресурсів відбувається по черзі). Що стосується перерозподілу навантаження за її нерівномірності, таких підходів у середовищах хмарних обчислень поки що не існує.

Простий метод розподілу виділяє ресурси кожного з хостів, які задовольняють запити клієнта, по черзі, доки вони не закінчаться. При випадковому методі розподілу ресурсів хост для запуску екземпляра вибирається випадково серед хостів, на яких є необхідна кількість ресурсів. Метод розподілу «випадковий у межах зони доступності» працює за тим самим принципом, що й випадковий, проте задіє лише ті хости, які заздалегідь визначені адміністратором хмарного обчислювального середовища як зона доступності для даного екземпляра.

Таким чином, порівняльний аналіз показав, що всі три описані методи розподілу ресурсів мають два істотні недоліки. Перший у тому, що під час ухвалення рішення про використання тієї чи іншої ресурсу немає оцінка оптимальності прийнятого рішення. Другий недолік у тому, що це методи працюють лише з етапі початкового виділення ресурсів примірнику. Крім того, жоден із розглянутих методів розподілу обчислювальних ресурсів не враховує таких важливих складових, як дискова підсистема та мережа. Через це програми з підвищеними вимогами до продуктивності диска (бази даних, аналітичні системи) та підвищеними вимогами до продуктивності мережі (відеоконференції, інтернет-шлюзи) випадають із логіки розподілу ресурсів.

Тому у зв'язку зі специфікою хмарних обчислювальних середовищ необхідно в технології IAAS враховувати при розподілі ресурсів розширений набір показників, у тому числі змінюваних у часі:

- продуктивність (кількість процесорів; число ядер процесорів; тактова частота процесорів; швидкість роботи мережі);
- навантаженість (зайняте RAM, завантаження CPU; навантаження на дискову підсистему; відгук дискової підсистеми завантаження мережі; кількість екземплярів, що виконуються);

- надійність (середній час між збоями; фізичний стан обладнання; якість складання обладнання; рівень компетенцій персоналу для обслуговування обладнання).

Висновки

У статті розглянуто класифікацію існуючих технологій надання хмарних послуг, для кожної з яких визначено переваги та недоліки, визначено характерні особливості хмарних обчислень, які необхідно враховувати при розподілі ресурсів.

Визначено, що недоліком кожної з перерахованих технологій є те, що потреби додатків, що працюють усередині примірників, враховуються лише у контексті необхідних обсягів процесорного ресурсу, оперативної пам'яті та місця у сховищі даних. При цьому не враховується специфіка роботи додатків, а також те, як із цим додатком розділятимуть ресурси вже розгорнуті на тих самих хостах інші додатки. Таким чином, не завжди має місце вибір оптимального

ресурсу для розміщення заявок клієнтів, що часто призводить до істотного зниження продуктивності додатків та ефективності використання хмарного ресурсу. Завдання полягає в тому, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження на всі сервери хмарного обчислювального середовища різної продуктивності, надавши при цьому найкращі умови для функціонування додатків і одночасно максимального ефективного використання наявних обчислювальних ресурсів. Доведено, що технологія IAAS найбільш уразлива при неоптимальному розподілі чи перерозподілі ресурсів. Визначено розширений набір показників для технології IAAS, у тому числі змінюваних у часі, які необхідно враховувати під час розподілу ресурсів.

Вирішення поставленого завдання дозволить підвищити ефективність використання ресурсів хмарного обчислювального середовища в цілому, підвищити продуктивність додатків та знизити витрати на інфраструктуру та її супровід.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhen Xiao, Weija Song, and Qu Chen, "Dynamic Resource Allocation using Virtual Machines for Cloud Computing Environment", IEEE transaction on parallel and distributed systems, Vol/ 24, Is. 6, pp. 1107 – 1117, June 2013, doi: 10.1109/TPDS.2012.283.v/
2. P. Franti, "Efficiency of random swap clustering", Journal of Big Data, 2018, vol. 5, No. 13, pp. 1-29. doi: 10.1186/s40537-018-0122-y.
3. N. Kuchuk, O. Shefer, G. Cherneva, and F. A. Alnaeri, "Determining the capacity of the self-healing network segment", Advanced Information Systems, vol. 5, no. 2, pp. 114–119, Jun. 2021, doi: 10.20998/2522-9052.2021.2.16.
4. Ye. Qiang, and W. Zhuang, "Distributed and adaptive medium access control for internet-of-things-enabled mobile networks", IEEE Internet of Things Journal, 2017, vol. 4, no. 2, pp. 446-460, doi: 10.1109/IJOT.2016.2566659.
5. H. Khudov, K. Tahyan, V. Chepurnyi, I. Khizhnyak, K. Romanenko, A. Nevodnichii, and O. Yakovenko, "Optimization of joint search and detection of objects in technical surveillance systems", Advanced Information Systems, 2020, Vol. 4, No. 2, pp. 156-162, doi: 10.20998/2522-9052.2020.2.23.
6. S. Semenov, and Cao Weilin, "Testing process for penetration into computer systems mathematical model modification", Advanced Information Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 133–138. 2020, doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.19.
7. G. Kuchuk, A. Kovalenko, I.E. Komari, A. Svyrydov, and V. Kharchenko, "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", Studies in Systems, Decision and Control, vol. 171, Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.), Springer Nature Switzerland AG, pp. 161-183, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-00253-4_8.
8. A. Nechausov, I. Mamusuć, and N. Kuchuk, "Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures", Advanced Information Systems, vol. 1, no. 2, 2017, pp. 21–26. DOI: 10.20998/2522-9052.2017.2.04.
9. H. Kuchuk, A. Kovalenko, B.F. Ibrahim, and I. Ruban, "Adaptive compression method for video information", International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 8(1), pp. 66–69, 2019, doi: http://dx.doi.org/10.30534/ijatcse/2019/1181.22019.
10. S. Bulba, "Composite application distribution methods", Advanced Information Systems", vol. 2, no. 3, pp. 128–131, 2018, doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.22.

Received (Надійшла) 22.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Features of the distribution of computing resources in cloud systems

Inna Petrovska, Heorhii Kuchuk

Abstract. The article considers the classification of existing technologies for providing cloud services. Advantages and disadvantages are determined for each technology. Characteristic features of cloud computing, which must be taken into account when allocating resources, are also defined. It was determined that all technologies take into account only the necessary amounts of processing resources, RAM and storage space. At the same time, the specifics of the applications are not taken into account. It also does not take into account the sharing of resources between different applications. Thus, it is not always possible to choose the optimal resource for placing customer applications. This often leads to a significant decrease in application performance. In addition, the cloud resource is used inefficiently. Existing approaches and methods of resource allocation do not take into account all the features of cloud computing. This can lead to inefficient use of cloud infrastructure. Therefore, the purpose of this article is to determine the characteristic features of cloud computing, which will need to be taken into account when allocating resources. The task is to ensure an even distribution of the load on all cloud servers. As a result of the analysis, it was proved that the IAAS technology is the most vulnerable to the quality of resource allocation. The necessary set of indicators for IAAS technology, which must be taken into account when allocating resources, is determined.

Keywords: cloud technologies, cloud resources, optimal allocation of resources.

В. В. Прокопов, Є. В. Мелешко, М. С. Якименко, В. А. Резніченко, С. В. Шимко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРЗАГРОЗ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ З ВЕБ-РЕСУРСІВ НА МОВІ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Анотація. Метою даної роботи є створення системи виявлення кіберзагроз на основі аналізу даних мережевого трафіку веб-ресурсів засобами мови програмування Python та з використанням методів машинного навчання. Об'єктом дослідження є процес аналізу даних з веб-ресурсів у системах кібербезпеки. Предметом дослідження є методи та алгоритми машинного навчання для аналізу даних з веб-ресурсів. Для навчання розробленої моделі виявлення кібератак було обрано відкритий набір даних CSE-CIC-IDS2017, що містить найсучасніші поширені інформаційні атаки, що відповідають вигляду справжніх даних з реального світу, основні реалізовані атаки включають брутфорс FTP, брутфорс SSH, DoS, Heartbleed, веб-атаку, інфільтрацію, ботнет та DDoS. Розроблене програмне забезпечення виявлення кібератак на веб-сайти складається з декількох модулів, а саме: модуля попередньої обробки даних датасету, модуля дослідження ознакового простору мережевого трафіку та модуля використання алгоритмів машинного навчання для пошуку кібератак. Для вирішення завдання з відбору ознак у рамках реалізації даного програмного забезпечення було вирішено обрати стратегію відбір на основі моделі за допомогою одного з ансамблевих методів машинного навчання випадковий ліс. Відбір ознак на основі моделі використовує алгоритм машинного навчання з учителем, щоб обчислити важливість кожної ознаки, і залишає лише найважливіші з них. Для тренування моделі були вибрані наступні алгоритми машинного навчання: наївний басейн класифікатор, k-найближчих сусідів, дерева рішень, метод опорних векторів (SVM) з використанням гауссівського ядра, адаптивний бустинг, дерева рішень з прискоренням (бустинг градієнта). Разом з тренуванням одразу виконувалася перехресна перевірка (з контролем) по семи блоках, для отримання більш точної оцінки узагальнюючої здатності моделі. Результат роботи – програмна реалізація методів машинного навчання для виявлення кібератак на веб-сайти за допомогою розпізнавання їх ознак у мережевому трафіку, а також проведення порівняння їх ефективності.

Ключові слова: кібербезпека, кібератака, кластеризація, аналіз даних, веб-ресурси, мережевий трафік.

Вступ

Забезпечення комп'ютерної безпеки у різних сферах людської життєдіяльності є задачею, яка має всі підстави розглядатися, як одна із найбільш важливих проблем сучасного суспільства. Адже суспільство стає все більш залежним від комп'ютерів та Інтернет-мережі у роботі та проведенні дозвілля. Зростає і значимість наявності вразливостей в комп'ютерних системах, що привертають увагу зловмисників, які використовують їх як можливість отримати гроші або заподіяти шкоду [1, 2]. Також вразливості комп'ютерних систем можуть використовуватися протиборчими сторонами для здобуття переваги під час інформаційних протиборств та війн [2]. Тому вкрай важливо захищати комп'ютерні системи та веб-ресурси від кібератак, а також розпізнавати такі атаки для їх своєчасного усунення, якщо методи превентивного захисту не спрацювали.

Одними з найефективніших методів виявлення кібератак на веб-ресурси є ті, що використовують методи машинного навчання [3-8]. Сучасні алгоритми аналізу даних дозволяють виявляти закономірності та ознаки в трафіку веб-сайтів [8-11], що дає додаткові можливості для виявлення кібератак методами штучного інтелекту.

Метою роботи є дослідження та програмна реалізація методів виявлення кібератак на веб-ресурси на основі машинного навчання та аналізу даних.

Основна частина

У даній роботі було розроблено програмне забезпечення для виявлення кібератак мережевого рівня моделі OSI у мережі Інтернет. Атаки виявлялися

на основі їх ознак з використанням методів машинного навчання. Аналіз та обробка отриманих даних проводилася за допомогою використання мови програмування Python 3.10 та наступних бібліотек:

- pandas для обробки даних;
- scikit-learn для машинного навчання;
- numpy для виконання математичних операцій;
- matplotlib для візуалізації та виведення даних у вигляді графіків.

Для тренування розробленої моделі виявлення кібератак було обрано відкритий набір даних CSE-CIC-IDS2017 [12]. Цей датасет був створений за результатами аналізу мережевого трафіку в ізольованому середовищі, в якому моделювалися дії звичайних користувачів, а також шкідливі дії порушників. Набір даних CSE-CIC-IDS2017 містить розмічений мережевий трафік з наявністю поширених кібератак та відповідає вигляду реального трафіку у форматі PCAP. У ньому представлені такі атаки [12]:

- DoS Hulk,
- PortScan,
- DDoS,
- DoS GoldenEye,
- FTP-Patator,
- SSHPatator,
- DoS slowloris,
- DoS Slowhttptest,
- Bot,
- Infiltration,
- Heartbleed,
- Web Attack – Brute Force,
- Web Attack – XSS,
- Web Attack – SQL Injection.

Датасет CSE-CIC-IDS2017 також включає результати аналізу мережевого трафіку за допомогою CICFlowMeter, інструменту генерації та аналізу мережевого трафіку, з позначеними потоками на основі відмітки часу, IP-адрес джерела і призначення, портів джерела та призначення, протоколів та атак (файли CSV). Створення реалістичного трафіку було головним пріоритетом у створенні цього набору даних. Було використано систему B-profile для профілювання абстрактної поведінки людських взаємодій і створення натуралістичного трафіку. Для цього набору даних було побудовано абстрактну поведінку 25 користувачів на основі протоколів HTTP, HTTPS, FTP, SSH та електронної пошти.

Сам набір даних в загальній сукупності містить у собі понад два мільйони чотириста тисяч зразків даних, кожен з яких розмічений як сутність, що належить до певного класу, який описує належність до нормального трафіку (benign) чи шкідливого (наприклад, PortScan, DDoS, Bot, і т.д.). Всього в датасеті виділяється близько п'ятнадцяти різних класів, та слід зазначити, що кількість зразків в кожному з них розподілена вкрай нерівномірно, та ті сильно відрізняються від класу до класу. Наприклад, кількість зразків у класі heartbleed складає усього одинадцять, тоді як клас goldeneye налічує близько десяти тисяч зразків. Якщо взяти усю сукупність даних то частка класу benign складає близько 84%, а решта 16% припадає на усі інші класи атак. Тож, беручи до уваги ці фактори, аби уникнути проблеми із збалансованістю даних необхідним є проведення наступних дій: об'єднання усіх класів атак в один єдиний (це також зводить проблему класифікації з мультикласової до бінарної); забезпечення міжкласового балансу.

Однією із методик вирішення проблеми дизбалансованості між класами є методика субдискретизації.

Сутність даного методу полягає у вибірці елементів із домінуючих класів із метою скорочення їх кількості. Стратегії субдискретизації можуть бути простими, як, наприклад, випадковий вибір групи елементів, але при цьому можливі втрати інформації у певних наборах даних. У таких випадках стратегія вибірки має передбачати в першу чергу видалення елементів, які дуже схожі на інші елементи, що залишаються в наборі даних. Для відкидання надлишкових даних було застосовано техніку субдискретизації мажоритарного (домінуючого) класу на основі центроїдів кластерів. Ця техніка полягає у створенні за допомогою алгоритму кластеризації (у даному випадку метод k-середніх) кластеру домінуючого класу та у подальшому відкиданню зразків, керуючись відстанню від центроїда до положення зразку у просторі, розрахованою за евклідовою метрикою.

Увесь датасет представлений у вигляді кількох файлів у форматі .csv:

- Monday-WorkingHours.pcap_ISCX;
- Tuesday-WorkingHours.pcap_ISCX;
- Wednesday-workingHours.pcap_ISCX;
- Thursday-WorkingHours-Morning-

WebAttacks.pcap_ISCX;

- Thursday-WorkingHours-Afternoon-Infiltration.pcap_ISCX;
- Friday-WorkingHours-Morning.pcap_ISCX;
- Friday-WorkingHours-Afternoon-PortScan.pcap_ISCX;
- Friday-WorkingHours-Afternoon-DDoS.pcap_ISCX.

Кожен файл частково чи повністю містить дані лише про певні види мережевих атак, тож у даній роботі їх було об'єднано у один єдиний файл задля забезпечення простоти у подальших маніпуляціях, змінах та перетвореннях даних.

Загальна кількість атрибутів, які описують кожний окремий зразок даних, становить близько 80-ти. Така велика кількість характеризуючих ознак, хоча і послугує для якнайбільш якіснішого відділення зразків між собою та класів, може виявитися надлишковою оскільки не кожна ознака може слугувати для виявлення унікальності, що буде виявляти відмінність одного класу від іншого; деякі ознаки взагалі можуть не нести ніякої корисної інформації, яка б описувала дані. Беручи до уваги велику кількість зразків даних та розмір ознакового простору буде доцільним провести відбір ознак. Тобто буде доречно створити таку підмножину ознак, яка буде значно меншою порівняно з наявною, але зведе до мінімуму втрату вагомості інформації. Зниження ознакового простору набору даних дозволить також отримати низку вагомих переваг, як наприклад: підвищення ступеню інтерпретації моделі; збільшення швидкості навчання; зменшення ймовірності приймання рішень моделлю на основі «шумів», що буде мати позитивний вплив на якість навчання.

Оскільки самих лише експертних знань (тобто прийняття рішень щодо формування чи відсіювання ознак оперуючись суто апріорними знаннями) може виявитися замало для прийняття рішення щодо відкидання того чи іншого атрибуту даних, то для виявлення важливості (та не важливості) тих чи інших атрибутів слід також прибигти до можливостей, які надають алгоритми машинного навчання.

Загалом виділяють три основні стратегії для відбору ознак: 1) одновимірні статистики, 2) відбір на основі моделі та 3) ітеративний відбір.

Для вирішення завдання з відбору ознак у рамках реалізації даного програмного забезпечення було вирішено обрати стратегію відбору ознак на основі моделі за допомогою одного з ансамблевих методів машинного навчання *випадковий ліс*. Відбір ознак на основі моделі використовує алгоритм машинного навчання з учителем, щоб обчислити важливість кожної ознаки, і залишає лише найважливіші з них. Модель машинного навчання з учителем, яка використовується для відбору ознак, не повинна використовуватись для побудови підсумкової моделі. Модель, що застосовується для відбору ознак, вимагає обчислення певного показника важливості для всіх ознак, щоб характеристики можна було ранжувати за цією метрикою.

Випадковий ліс (Random forest) – це алгоритм машинного навчання, що полягає у використанні сукупності дерев ухвалення рішень (таку сукупність

ще називають ансамблем) [13, 14]. Основними напрямками застосування алгоритму є задачі класифікації, регресії та кластеризації. Основна ідея полягає у використанні великого ансамблю дерев класифікації, кожне з яких саме собою дає дуже невисоку якість класифікації, але за рахунок того, що їх використовується велика кількість кінцевий результат виходить хорошим.

Спочатку для надання оцінки важливості ознак у тренувальному наборі проводиться навчання випадкового лісу на цьому наборі. В продовж процесу побудови моделі для кожного елемента тренувального набору записується так звана помилка невідібраних елементів (ПНЕ). Потім ця помилка усереднюється у всьому випадковому лісі для кожної із сутностей.

Задля того, аби винести оцінку важливості для i -го параметра після тренування, значення цього параметра випадковим чином перемішуються для всіх записів тренувального набору і виконується обчислення ПНЕ знову. Визначення важливості параметру відбувається шляхом усереднення по всіх деревах різниці показників ПНЕ до перемішування значень та після. Під час здійснення цього процесу проводиться нормалізація на обчислюється стандартне відхилення значення для всіх таких помилок.

Важливість параметру вибірки для тренувального набору визначається величиною його значення. Один із вагомих недоліків цього методу полягає в тому, що для категоріальних змінних із великою кількістю значень метод схильний вважати такі змінні важливішими. Часткове перемішування значень може знижувати вплив цього ефекту. З груп параметрів, важливість яких виявляється однаковою, вибираються менші за чисельністю групи [13].

Важливе місце у аналізі та дослідженні даних відводиться їх попередній обробці. Етап попередньої обробки даних у даному випадку включає в себе перевірку кожного значення атрибуту, заповнення відсутніх значень, кодування даних у формат зрозумілий для моделі.

Так, зокрема, необхідно провести дослідження ознак і замінити значення Infinity на значення -1, замість значення inf поставити 0, теж саме із значеннями типу NaN [6]. Наостанок проводиться відбір та перетворення усіх атрибутів нечислового типу (категоріальні, строкові, змішані і т.д.).

Після проведення етапу попередньої обробки даних, зміни значень даних, заповнення пропущених місць, формування ознак, видалення ознак, форматування значень атрибутів – настає етап розділення набору даних на дві різні підмножини: тренувальний та тестовий набори.

Для тренування моделі були вибрані наступні алгоритми машинного навчання [14]:

- *найвний байесів класифікатор*. Цей класифікатор називається «найвним», тому що ґрунтується на вельми суворих статистичних вихідних передумовах, а саме: ознаки вибираються незалежно з деякого (невідомого заздалегідь) розподілу. Основна ідея, закладена в основу найвного байесівського класифікатора, полягає в наступному: взявши елемент да-

них на основі набору ознак необхідно визначити ймовірність того, що йому треба присвоїти мітку якогось певного класу;

- *k-найближчих сусідів*. Даний алгоритм виділяється з понад інших алгоритмів машинного навчання своєю відносною простотою. В основі принципу роботи лежить наступний процес: запам'ятовування тренувального набору даних. Для проведення прогнозу для нового (невідомого) зразка даних, алгоритм знаходить найближчих сусідів – тобто найближчі до нового зразку точки з навчального набору. Цей тип методики машинного навчання відкладає більшу частину обчислень на час класифікації, замість того, щоб виконувати цю роботу під час навчання. Моделі лінивого навчання не навчаються узагальнення даних під час тренувальної стадії. Натомість вони фіксують усі передані їм точки тренувальних даних і використовують цю інформацію для створення локальних узагальнень на тестовій вибірці під час класифікації;

- *дерева рішень*. Дерева рішень являють собою досить універсальні та гнучкі моделі навчання з учителем, які мають дуже важливу властивість – простоту інтерпретації. Використовують структуру даних у вигляді бінарного дерева для прийняття рішень. Дерева є цілком інтуїтивно зрозумілим способом візуального представлення та аналізу даних, тому дуже широко використовуються навіть поза межами області машинного навчання. Ці структури надають можливість прогнозування як категоріальних значень (дерева класифікації), так і значення у форматі дійсних чисел (дерева регресії), а також здатні містити і числові, і категоріальні дані без операцій нормалізації або створення фіктивних змінних;

- *метод опорних векторів (SVM)*. В найпростішому варіанті SVM представляє з себе лінійний класифікатор, тобто дозволяє створити гіперплощину у векторному просторі, щоб спробувати розділити два класи в заданому наборі даних. Метод опорних векторів використовує функцію залежних втрат, яка штрафує лише ті точки, які розташовані на неправильній стороні відносно гіперплощини або дуже близькі до гіперплощини, але знаходяться на правильній стороні. Більш точно, SVM класифікатор намагається знайти максимальну гіперплощину, що розділяє два класи, де «кордон» позначає відстань від площини, що розділяє векторний простір навпіл, до найближчих точок даних на кожній стороні. У тому випадку, коли дані розділені не прямою лінією, точки всередині цієї межі штрафуються пропорційно їх віддаленості від кордону;

- *Adaptive Boosting*. Алгоритм машинного навчання, що посилює класифікатори, поєднуючи їх у «комітет». AdaBoost є адаптивним тому, що кожен наступний комітет класифікаторів будується по об'єктах, неправильно класифікованих попередніми комітетами. AdaBoost чутливий до шуму даних і викидів. Однак він менш схильний до перенавчання в порівнянні з іншими алгоритмами машинного навчання;

- *дерева рішень з прискоренням* (градієнтний бустинг). Такий алгоритм застосовує витончені

комбінації прогнозів окремих дерев рішень на формування поліпшених узагальнених прогнозів. При використанні методики прискорення або Gradient Boosting декілька слабких об'єктів, що навчаються вибірково об'єднуються за допомогою виконання оптимізації градієнтного спуску у функції втрат, щоб отримати в результаті набагато більш потужну модель навчання. Основною методикою прискорення або Gradient Boosting є додавання окремих дерев до лісу по одному з використанням процедури градієнтного спуску для мінімізації втрат при додаванні дерев. Процедура додавання дерев у ліс зупиняється при досягненні встановленої граничної кількості, коли валідаційний набір втрат досягає прийнятного рівня або якщо подальше додавання дерев не може поліпшити (мінімізувати) рівень втрат.

Після проведення навчання моделі необхідним є надання оцінки її узагальнюючій здатності, тобто перевірка того наскільки вона на основі отриманих знань з навчального набору може їх ефективно використовувати для розпізнавання нових досі невідомих даних. Тобто необхідно визначити метрики якості (чи показники продуктивності) моделі.

Найпростішою метрикою якості моделі є оцінка правильності її роботи. Для її підрахунку необхідно знайти відсоткове відношення правильно класифікованих разків даних.

Більш ефективним показником може слугувати матриця помилок. Суть методу полягає у тому, щоб підрахувати, скільки разів зразки класу *A* були віднесені до класу *B*. При розгляданні задачі класифікації мережевих даних як задачі бінарної класифікації необхідно буде з'ясувати скільки разів класифікатор плутав звичайні дані з атаками. Для розрахунку матриці помилок спочатку потрібно мати набір прогнозів, щоб їх можна було порівнювати з фактичними даними. Кожен рядок у матриці помилок представляє фактичний клас, а кожен стовпець – прогнозований клас.

У матриці помилок (табл. 1) підраховується кількість наступних подій:

- вірні класифікації даних як кібератак (TP);
- помилкові класифікації даних як кібератак (FP);
- вірні класифікації даних як звичайних (TN);
- помилкові класифікації даних як звичайних (FN).

Таблиця 1 – Матриця помилок для визначення ефективності методу класифікації трафіку

	Звичайний трафік	Кібератака
Розпізнано як звич. трафік	True-Positive (<i>tp</i>)	False-Negative (<i>fn</i>)
Розпізнано як кібератаку	False-Positive (<i>fp</i>)	True-Negative (<i>tn</i>)

На основі табл. 1 можна обчислювати різні показники якості роботи системи, зокрема, точність (1) та повноту (2) її роботи, а також F-міру (3):

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (1)$$

$$Recall = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (2)$$

$$F = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall}. \quad (3)$$

Розроблюване програмне забезпечення аналізу даних для виявлення кібератак складається з декількох модулів:

- модуль попередньої обробки даних датасету;
- модуль дослідження ознакового простору мережевого трафіку;
- модуль використання алгоритмів машинного навчання для пошуку кібератак.

Модуль попередньої обробки даних об'єднує в один файл датасет, що складається із декількох окремих файлів, а також виконує низку важливих дій пов'язаних із підготуванням даних до подальшої роботи алгоритмами. Так із самого початку відбувається перевірка всіх файлів набору даних на наявність у них нульових значень, пропусків, типів даних, які не будуть сприйматися алгоритмами машинного навчання і т.д. Також проводиться простий статистичний аналіз кількості даних датасету з подальшою візуалізацією у вигляді графіків. Після

проведення попередньої обробки даних відбувається злиття новоутворених даних в один файл із подальшим збереженням.

Збереження проміжних файлів необхідне для того аби забезпечити модульність функціонування системи, оскільки це дозволить виконувати окремі операції у довільному порядку. Таке рішення необхідне оскільки виконання деяких дій пов'язаних з аналізом та обробкою інформації може потребувати великої кількості часу, а збереження деяких проміжних даних та результатів виконання операцій дозволить уникнути необхідності у поступовому і безперервному виконанні системи і зарадить втраті більшої кількості вагомих даних у разі збою. Також таке зберігання даних на кожному етапі роботи системи має позитивний вплив на економію ресурсів персонального комп'ютера та часу користувача.

Наступним компонентом системи є модуль дослідження ознакового простору. В цьому модулі відбувається виконання операцій пов'язаних із дослідженням ознакового простору даних. З усіх ознак вибираються найбільш вагомі та значущі для зразків свого класу. При необхідності відбувається формування нових (наприклад, за допомогою об'єднання двох), видалення незначущих і т.д.

Модуль використання алгоритмів машинного навчання для пошуку кібератак відповідає за:

- 1) розділення всього датасету на дві підмножини навчальний та тестовий набори даних;
- 2) тренування моделей машинного навчання на навчальних даних;

3) перевірку їх узагальнюючої здатності на тестовому масиві даних за допомогою метрик якості роботи.

Функціональна схема програмного забезпечення для аналізу даних зображена на рис. 1.

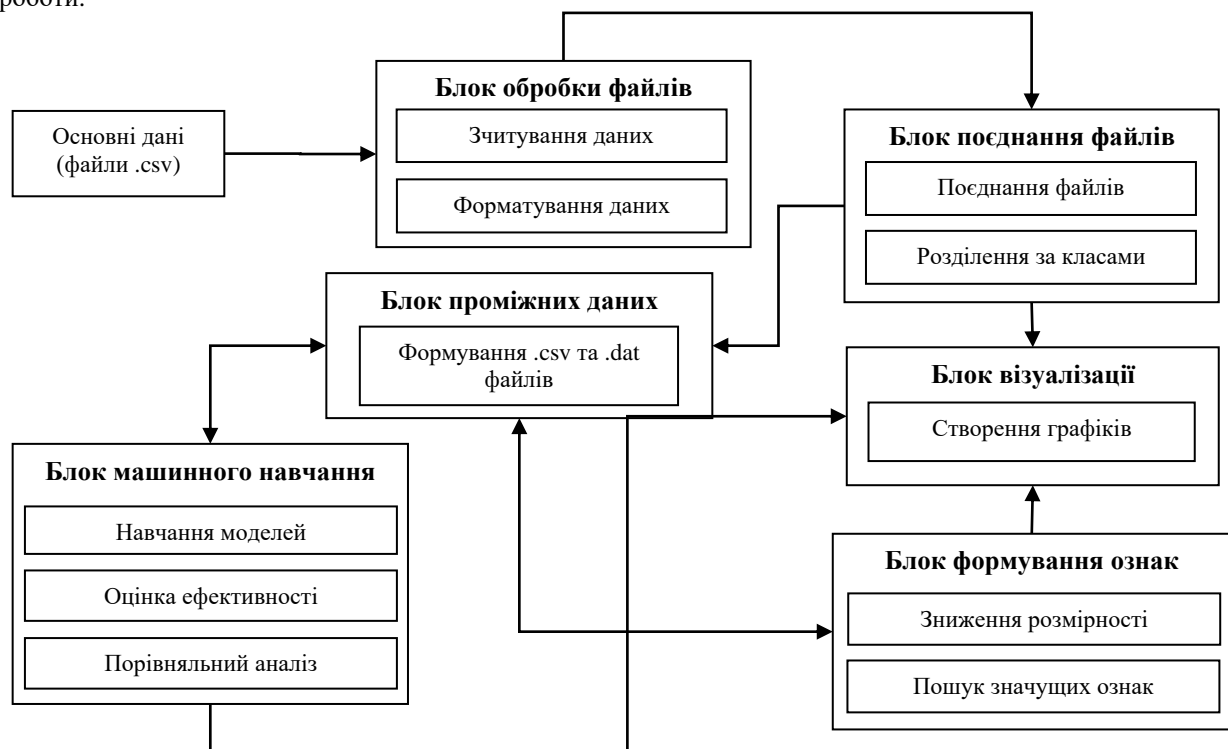


Рис. 1. Функціональна схема системи виявлення кіберзагроз на основі аналізу даних з веб-ресурсів

Програма починає роботу із пошуку необхідних файлів у каталозі та формування списку. Далі відбувається відкриття одного файлу з даними Інтернет-трафіку і починається його обробка. Кожен рядок файлу представляє собою опис певного виду трафіку (зразок даних), де у колонці вказано значення його ознак, сукупність яких, тим чи інакшим чином, відрізняє один зразок від іншого. Відкриття та обхід полів відбувається за допомогою бібліотеки для обробки даних pandas, оскільки вона допомагає зчитувати файли формату .csv та перетворювати їх на дані формату Serial та DataFrame – формат представлення даних, який значно полегшує проведення будь-яких операцій з даними (вилучення, сортування, видалення, зміна і т.д.). Проведення даної процедури необхідне для того, щоб здійснити форматування даних, привести їх до виду зрозумілого для мови програмування Python або навіть позбутися деяких надлишкових ознак, тих, які не несуть якоїсь вагомості інформації. Також відбувається сортування ранніх видів сутностей за значенням поля label, яке вказує чи є сутність шкідливою чи ні (benign – звичайний трафік, а усе інше можна віднести до трафіку зловмісного характеру).

Після завершення операцій форматування та класифікації відбувається статична обробка новосторених файлів, яка необхідна для того, щоб мати точне представлення про види та кількість полів, що відносяться до тієї чи іншої сутності.

Наступним етапом є виявлення таких ознак для кожного окремого набору сутностей, які несуть найбільшу про них інформацію. Для втілення цієї мети

використовується алгоритм Random forest. Він в даному випадку використовується для обчислення значущості ваги об'єктів у наборі даних.

Потім у розроблюваній системі відбувається навчання моделі на наборі даних CSE-CIC-IDS2017, а також її тестування для визначення точності її роботи при виявленні кібератак у мережевому трафіку.

Ефективність моделей оцінювалася за показниками їх правильності, точності, повноти та F-мірою. Найбільш ефективні результати (за F-мірою) показали градієнтний бустинг (97,8%) та адаптивний бустинг (97,6%), потім усі інші: k-найближчих сусідів (96%), ядерний метод опорних векторів (95%), дерево рішень (95%) та баєсів класифікатор (77%).

Висновки

У статті наведено результати дослідження та розробки системи виявлення кіберзагроз на основі аналізу даних з веб-ресурсів на мові програмування Python. Було розроблено програмне забезпечення для виявлення кібератак мережевого рівня моделі OSI у мережі Інтернет. Атаки виявлялися на основі їх ознак з використанням методів машинного навчання. Для тренування моделі виявлення кібератак було обрано відкритий набір даних CSE-CIC-IDS2017, що містить змодельований розмічений мережевий трафік зі звичайними даними та кібератаками у форматі PCAP, основні реалізовані атаки включають брутфорс FTP, брутфорс SSH, DoS, Heartbleed, веб-атаку, інфільтрацію, ботнет та DDoS.

Програмне забезпечення обробки та аналізу даних складається з декількох модулів:

- модуль попередньої обробки даних датасету;
 - модуль дослідження ознакового простору мережевого трафіку;
 - модуль використання алгоритмів машинного навчання для пошуку кібератак.

Для тренування моделі були обрані наступні алгоритми машинного навчання: наївний баєсів класифікатор, k-найближчих сусідів, дерева рішень, метод опорних векторів (SVM) з використанням гауссівського ядра, адаптивний бустинг, дерева рішень з прискоренням (градієнтний бустинг).

Разом з тренуванням одразу виконувалася перехресна перевірка (з контролем) по семи блоках, для

отримання більш точної оцінки узагальнюючої здатності моделі.

Найбільш ефективні результати (за f-мірою) показали градієнтний бустинг (97,8%) та адаптивний бустинг (97,6%), потім усі інші: k-найближчих сусідів (96%), ядерний метод опорних векторів (95%), дерева рішень (95%) та баєсів класифікатор (77%).

Розроблене програмне забезпечення призначене для аналізу мережевого трафіку і пошуку кібератак, володіє таким функціональними можливостями для роботи з даними: проведення статистичного аналізу даних, систематизація, виявлення закономірностей та тенденцій, графічне (візуальне) представлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chang J. (2021) "10 Cybersecurity Trends for 2022/2023: Latest Predictions You Should Know", URL: <https://financesonline.com/cybersecurity-trends/>
2. Branch J. (2021). "What's in a Name? Metaphors and Cybersecurity", International Organization, vol. 75, no. 1, pp. 39-70. doi:10.1017/S002081832000051X URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-organization/article/abs/>
3. Ford V., Siraj A. (2014) "Applications of Machine Learning in Cyber Security", ISCA 27th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering (CAINE-2014), held in New Orleans, LA, October 13-15, 2014.
4. Lewis M. (2017) "Rise of the machines: Machine Learning & its cyber security applications", NCC Group Whitepaper.
5. Sommer R., Paxson V. (2010) "Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection", 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010, pp. 305-316, doi: 10.1109/SP.2010.25. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5504793>
6. Burkov A. (2019) The Hundred-Page Machine Learning Book. – pp. 160.
7. Чіо К., Фримэн Д. Машинное обучение и безопасность / пер. с англ. А. В. Снастина. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 388 с.
8. Kostas K. (2018) "Anomaly Detection in Networks Using Machine Learning". Research Proposal, march 2018, pp. 1-64.
9. Bhattacharyya D. K. (2013) "Network Anomaly Detection: A Machine Learning Perspective 1st Edition", Chapman and Hall/CRC. – pp. 366.
10. Flach P. (2012) "Machine Learning: The Art and Science of Algorithms that Make Sense of Data. 1st edition", Cambridge University Press. – pp. 416.
11. Орельен Ж. (2018) "Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем", Пер. с англ. – СПб.: ООО "Альфа-книга". – 688 с.
12. Canadian Institute for Cybersecurity (2017) "Intrusion Detection Evaluation Dataset (CSE-CIC-IDS2017)", URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2017.html>
13. Breiman L. (2001) "Random Forests", Machine Learning journal, Vol. 45, no. 1. – P. 5-32. – doi:10.1023/A:1010933404324, URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>
14. Lutins E. "Ensemble Methods in Machine Learning: What are They and Why Use Them?", Towards Data Science. URL: <https://towardsdatascience.com/ensemble-methods-in-machine-learning-what-are-they-and-why-use-them-68ec3f9fef5f>
15. Sunil (2017) "Commonly used Machine Learning Algorithms (with Python and R Codes)", Analytics Vidhya. URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2017/09/common-machine-learning-algorithms/>

Received (Надійшла) 14.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.04.2022

The methods of data storing of a recommendation system based on linked lists

V. Prokopov, Ye. Meleshko, M. Yakymenko, V. Reznichenko, S. Shymko

Abstract. The goal of this work is to develop a system for detecting cyber threats based on the analysis of network traffic data of web resources using Python programming language and using machine learning methods. The object of research is the process of analyzing data from web resources in cybersecurity systems. The subject of research is the methods and algorithms of machine learning for the analysis of data from web resources. CSE-CIC-IDS2017 open data set was chosen to train the developed model of cyberattack detection, which contains the most modern common information attacks that correspond to the real world data, the main implemented attacks include FTP brute force, SSH brute force, DoS, Heartbleed, web attack, infiltration, botnet and DDoS. The developed software for detecting cyberattacks on websites consists of several modules, namely: a module for data processing pre-processing, a module for researching the feature space of network traffic and a module for using machine learning algorithms to search for cyberattacks. To solve the problem of selection of features in the implementation of this software, it was decided to choose a selection strategy based on the model using one of the ensemble methods of machine learning random forest. Model-based feature selection uses a machine learning algorithm with the teacher to calculate the importance of each feature, leaving only the most important ones. The following machine learning algorithms were chosen to train the model: naive Bayesian classifier, k-nearest neighbors, decision trees, support vector machine (SVM) with using Gaussian basis, and decision trees with acceleration (gradient boosting). Along with the training, a cross-check (with control) was performed on seven blocks at once, in order to obtain a more accurate assessment of the generalization ability of the model. The result of this work is the software implementation of machine learning methods to detect cyber-attacks on websites by identifying their features in network traffic, as well as comparing their effectiveness.

Keywords: cybersecurity, cyber-attack, clustering, data analysis, web resources, network traffic.

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОКАРДІОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Анотація. Сучасна медицина характеризується різким зростанням кількості інформації, що переробляється при вирішенні традиційних лікарських завдань: від реєстрації біомедичної інформації до постановки діагнозу, визначення прогнозу, вибору та корекції тактики лікування за результатами діагнозу. Принциповою перевагою аналізу біомедичних даних за допомогою медичних інформаційних систем є можливість одномоментної оцінки багатьох параметрів з обробкою великих обсягів інформації, що не під силу ні людині, ні автоматичним аналізаторам, орієнтованим лише на обрані методи аналізу. Для підвищення ефективності електрокардіологічного дослідження було виконано системний аналіз процесу вироблення діагностичних рішень з метою виділення критичних елементів кардіологічної системи підтримки прийняття рішень, які можуть призвести до вироблення некоректних рішень або відмови від прийняття рішення. **Метою дослідження** є розробка функціональної моделі електрокардіологічного дослідження з використанням методології функціонального моделювання IDEF0. **Результати.** Запропоновано функціональну модель електрокардіологічного дослідження у вигляді контекстної діаграми, її декомпозиції та декомпозиції робіт «Виконати реєстрацію та аналіз електроекстрокардіограми» й «Виконати діагностику». Розроблена функціональна модель електрокардіологічного дослідження показала, що найвідповідальніші роботи виконуються особою, яка приймає рішення, за допомогою кардіологічної системи підтримки прийняття рішень. Крім того запропонована функціональна модель електрокардіологічного дослідження дозволила виділити різні режими роботи кардіологічної системи підтримки прийняття рішень (автоматичний, напівавтоматичний та ручний). Запропонована функціональна модель електрокардіологічного дослідження є основою розробки структури кардіологічної системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: електрокардіологічне дослідження, функціональна модель, методологія IDEF0, кардіологічна система підтримки прийняття рішень, біомедичний сигнал.

Вступ

З появою нових методів функціональної діагностики в кардіології, наприклад, таких як холтер-моніторинг електрокардіограми (ЕКГ), виникла потреба в автоматичному аналізі великих обсягів інформації. Тому проектування медичних систем підтримки ухвалення рішень (СППР) у кардіології є актуальною науково-практичною задачею.

Більшість сигналів (у тому числі і ЕКГ), отриманих в результаті функціональної діагностики стану серця та серцево-судинної системи (ССС), відносяться до біомедичних сигналів (БМС) з локально зосередженими ознаками (ЛЗО). БМС з ЛЗО – це квазіперіодичні (майже періодичні) сигнали, що мають складну форму та несуть інформацію про стан об'єкта на невеликих фрагментах інтервалу спостереження сигналу [1].

Постановка проблеми в загальному вигляді

Різні класи медичних інформаційних систем у кардіології використовуються як з метою введення та зберігання необхідної інформації з можливістю створення різноманітних звітів та протоколів обстеження, так і з метою формування комп'ютерного діагностичного висновку, який використовується лікарем-фахівцем для вироблення остаточного рішення про стан серця та ССС пацієнта. Медичні СППР забезпечують підтримку ухвалення рішень на основі математичних, функціональних, структурних, евристичних та інших моделей, при створенні яких важливо враховувати специфіку як подання, так і прояви клінічної інформації [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [4] виділено такі особливості побудови медичних

СППР, які за своєю суттю є проблемами їхньої побудови:

- медичні знання мають досить складну структуру, що важко формалізується в силу того, що людський організм дуже складна і не до кінця вивчена функціональна система;

- медичні завдання являють собою слабо-структуровані або неструктуровані проблеми внаслідок того, що хвороби схильні до природної мінливості;

- розроблені математичні методи прийняття рішень у технічній діагностиці важко, а деяких випадках неможливо перенести на рішення аналогічних завдань у медицині, оскільки процедури прийняття рішення лікарем-діагностом не формалізовані;

- подання медичних даних не стандартизовані (можуть суттєво відрізнятися термінологія, номенклатура та шкали вимірювання ознак, формати для реєстрації даних та протоколів обстежень тощо);

- велика кількість інформації про стан пацієнта формується із аналізу сигналів, отриманих у результаті інструментальних методів обстеження;

- будь-яка фізіологічна система організму людини не може розглядатися окремо, тому, хоча і багато спільного між хворими, які страждають на одне захворювання, у кожного хвороба має індивідуальні риси;

- ціна помилки при ухваленні діагностичних рішень у медицині дуже висока, оскільки ці рішення пов'язані зі здоров'ям пацієнта, тому медичні СППР повинні генерувати максимально достовірні діагностичні рішення, які можуть мати лише консультативний характер, а остаточне рішення залишається за лікарем.

Для підвищення ефективності ЕКГ дослідження необхідно виконати системний аналіз процесу вироблення діагностичних рішень з метою виділення критичних елементів кардіологічної СППР (КСППР), які можуть призвести до вироблення некоректних рішень або відмови від прийняття рішення [5]. Розглянемо основні етапи формування протоколу ЕКГ дослідження лікарем-кардіологом.

Для повного та якісного заповнення протоколу ЕКГ дослідження лікарем-кардіологом необхідно на початковому етапі вказати підстави (показання) для ЕКГ дослідження, коротко описати раніше проведені дослідження (якщо такі мали місце бути) із зазначенням мети цих досліджень (скринінгове або для діагностики патології після лікування), коротко описати історію хвороби (анамнез) Ця інформація потрібна для більш ефективного прийняття рішень. У разі наявності попередніх ЕКГ досліджень необхідно виявити зміни в динаміці та/або визначити ефективність лікування. На наступному етапі виконується визначення діагностичних ознак у результаті аналізу ЕКГ. Залежно від виду ЕКГ дослідження, існує безліч стандартів, які допомагають стандартизувати протокол ЕКГ дослідження при описі традиційних діагностичних ознак. Наприклад, стандарт протоколів ЕКГ чи холтерівського моніторингу. На підставі аналізу діагностичних ознак виконується етап виявлення патологічних змін (наприклад, гіпертрофія лівого шлуночка, шлуночкова, передсердна або вузлова екстрасистоля, миготлива аритмія передсердь тощо). Результатом виконання цього етапу є або опис патологічних змін, або констатація факту, що їх не виявлено. Далі, у разі наявності попередніх ЕКГ досліджень, виконується порівняння результатів поточного та попередніх досліджень з метою оцінки динаміки змін, якщо контроль проводиться без лікування (наприклад, в результаті скринінгових досліджень) або оцінки ефективності лікування, якщо між дослідженнями проводилося лікування. На наступному етапі з урахуванням усіх одержаних результатів ЕКГ досліджень (як поточного, так і попередніх, якщо вони проводилися) виконується вироблення діагностичних рішень, які оформлюються у вигляді протоколу ЕКГ дослідження. На заключному етапі пацієнту надаються різні рекомендації щодо тактики подальшого обстеження.

Задача підвищення якості автоматизованої обробки ЕКГ безпосередньо залежить від підвищення ефективності етапу морфологічного аналізу. Під час створення ефективних методів морфологічного аналізу ЕКГ для КСППР необхідно враховувати модель корисного сигналу (МПС), і навіть засновані на МПС методи перетворення БМС з ЛЗО. Аналіз різних МПС та відповідних їм методів перетворення БМС з ЛЗО наведено у [6-9].

Більшість медичних інформаційних систем, що функціонують в українських лікувальних закладах, морально і фізично застаріли. Переважно вони зроблені ще 10-15 років тому, їх ніхто вже давно не підтримує та не вдосконалює. Ці системи дозволяють автоматизувати лише підготовку звітних форм [10]. Використання зарубіжних КСППР пов'язане з

такими труднощами як дуже висока вартість програмного забезпечення та неможливість модернізації програмного коду. Тому є необхідність створення сучасних українських КСППР, які не мають вказаних вище недоліків.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розвиток засобів підтримки прийняття рішень під час проектування кардіологічних комп'ютерних діагностичних систем на основі морфологічного аналізу БМС із ЛЗО з метою підвищення ефективності ЕКГ дослідження. Для досягнення поставленої мети вирішувались задача розробки функціональної моделі ЕКГ дослідження.

Результати досліджень

Представимо функціональну модель ЕКГ дослідження за допомогою методології функціонального моделювання IDEF0. Контекстна діаграма представляє ЕКГ дослідження як єдине ціле та показує зв'язок із зовнішнім світом. Для її побудови необхідно визначити входи, виходи, керування та механізми. Для виконання ЕКГ дослідження в першу чергу потрібно мати дані про пацієнта (ПІБ, стать, вік, контактні дані тощо), дані анамнезу (історія хвороби, супутні захворювання тощо) та дані функціонального обстеження пацієнта (клінічний аналіз крові, артеріальний тиск і т.д.), а також направлення на дослідження, в якому вказується тип ЕКГ дослідження (наприклад, стандартна реєстрація ЕКГ, ЕКГ з пробами навантаження, холтер-моніторинг і т.д.). Усі ці дані є входами контекстної діаграми (рис. 1). В результаті ЕКГ дослідження пацієнт отримує протокол, у якому вказуються необхідні відомості про проведене ЕКГ дослідження (наприклад, дані про ЕКГ-діагностичний комплекс (ЕКГ-ДК), за допомогою якого проводилося дослідження, тип ЕКГ дослідження тощо), опис результатів ЕКГ дослідження та діагностичний висновок. Тому протокол ЕКГ дослідження є виходом контекстної діаграми (рис. 1). Будь-яке дослідження проводиться у відповідність до законодавчої бази, тому нормативні документи (правила проведення дослідження, стандарти формування протоколів тощо) – це управління контекстної діаграми (рис. 1).

І, нарешті, ЕКГ дослідження пацієнта проводить медперсонал (медсестра, лаборант, технік тощо.) з використанням ЕКГ-ДК, що дозволяє реєструвати необхідні відведення ЕКГ. До сучасних ЕКГ-ДК підключаються ПК, де встановлені КСППР, відповідні модулі якої обробляють та аналізують отримані ЕКГ, а також допомагають лікарю-фахівцеві виробляти діагностичні рішення. Тому основними механізмами контекстної діаграми є пацієнт, медперсонал, лікар-фахівець (тобто особа, яка приймає рішення – ОПР), КСППР та ЕКГ-ДК (рис. 1).

Для декомпозиції контекстної діаграми, зображеної на рис. 1, було виділено чотири основні роботи (рис. 2):

- робота 1 «Зареєструвати пацієнта»;
- робота 2 «Виконати реєстрацію та аналіз ЕКГ»;
- робота 3 «Виконати діагностику»;
- робота 4 «Сформувати протокол ЕКГ дослідження».

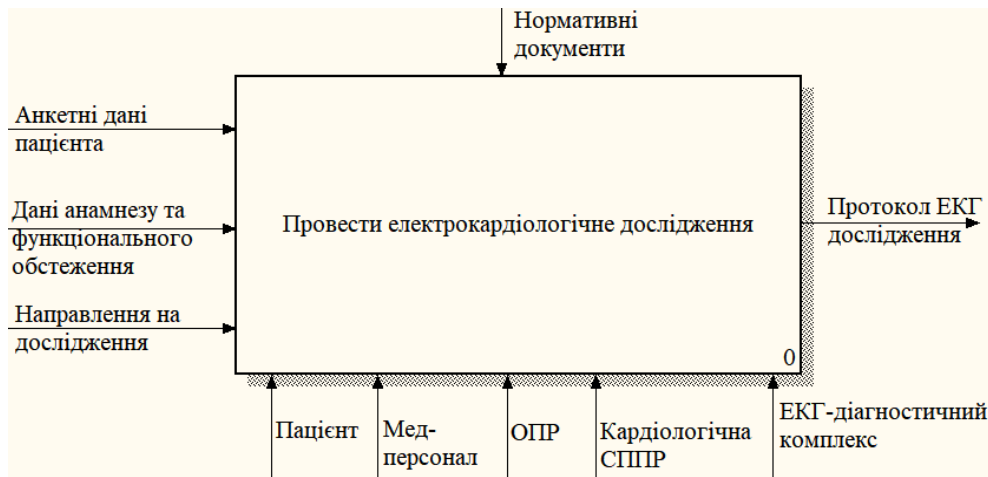


Рис. 1. Контекстна діаграма функціональної моделі ЕКГ дослідження

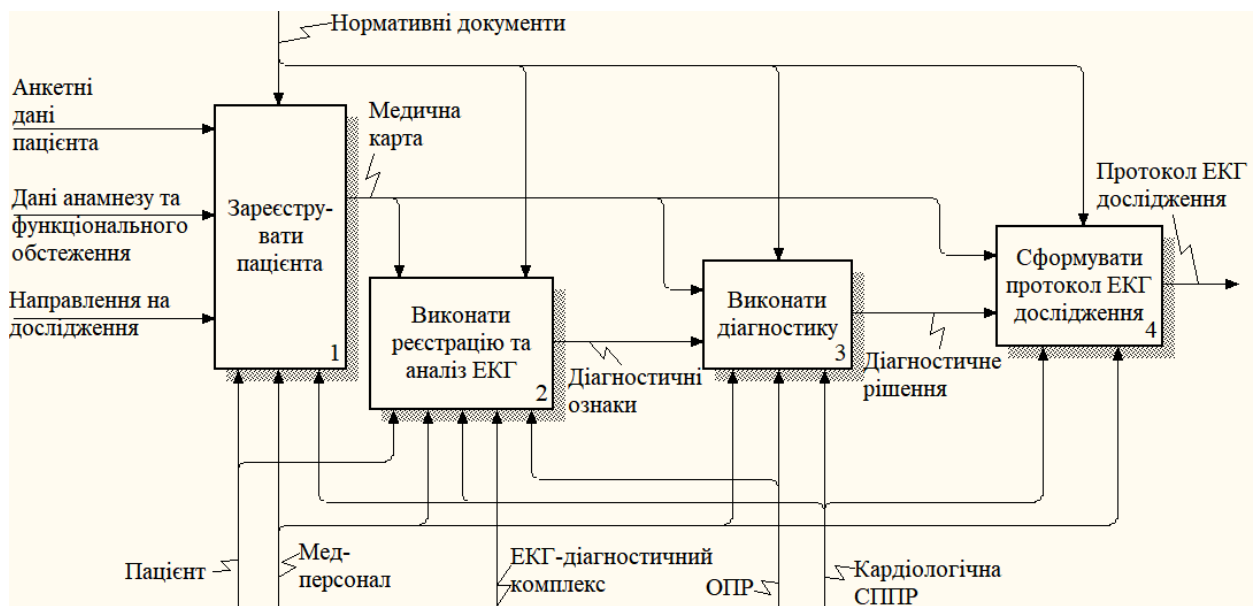


Рис. 2. Декомпозиція контекстної діаграми функціональної моделі ЕКГ дослідження

Як і для контекстної діаграми, управлінням всім робіт є нормативні документи. Нормативні документи є керуванням для всіх робіт, як це було показано для контекстної діаграми. Анкетні дані, дані анамнезу та функціонального обстеження пацієнта, а також направлення на дослідження надходять на вхід роботи 1. Медперсонал з використанням модулів КСППР (механізми) формує нову або заповнює існуючу медичну карту (вихід). При цьому дані з медичної картки поряд із нормативними документами є управлінням роботи 2. Робота 2 не має входів, оскільки дані з медичної картки та нормативні документи є управлінням. Ці дані дозволяють за необхідності налаштувати необхідні параметри ЕКГ-ДК (наприклад, тривалість реєстрації ЕКГ або система відведення), а також вибрати необхідний тип дослідження (наприклад, холтер-моніторинг). Медперсонал за допомогою ЕКГ-ДК виконує реєстрацію необхідних відведень ЕКГ, а ОПР за допомогою інтелектуальних модулів КСППР виконує подальший аналіз отриманих ЕКГ з метою визначення діагностичних ознак (електрична вісь серця, параметри та

морфологічні зміни структурних елементів, відсутність структурних елементів, які присутні нормі, та/або наявність артефактів у вигляді додаткових структурних елементів, яких не повинно бути в нормі) [11]. Таким чином, вихідними даними 2 роботи є діагностичні ознаки, а механізмами пацієнт, медперсонал, ОПР, ЕКГ-ДК і КСППР. На вхід роботи 3 надходять дані з медичної картки (дані анамнезу та результати функціональної діагностики), а також отримані на виході роботи 2 діагностичні ознаки. ОПР, використовуючи інтелектуальні модулі КСППР, формує діагностичне рішення, яке є виходом роботи 2. Внаслідок виконання роботи 4 медперсоналом за допомогою КСППР (механізми роботи 4) на підставі даних з медичної картки та отриманого на виході роботи 3 діагностичного рішення (входи роботи 4) заповнюється протокол ЕКГ дослідження (вихід роботи 4).

Таким чином, з урахуванням основних виділених робіт виконано декомпозицію контекстної діаграми функціональної моделі ЕКГ дослідження, яка зображена на рис. 2.

Перша та остання роботи досить легко автоматизуються, особливо за наявності стандартів ведення медичних карт та оформлення протоколів ЕКГ дослідження. На якість та ефективність ЕКГ дослідження більшою мірою впливають результати виконання робіт 2 і 3, тому тільки у цих робіт одним із механізмів є ОПР та інтелектуальні модулі КСППР. Крім того, помилки на етапі аналізу ЕКГ є критичними для всього процесу ЕКГ дослідження. Тому було виконано подальшу декомпозицію робіт 2 і 3.

В результаті декомпозиції роботи 2 «Виконати реєстрацію та аналіз ЕКГ» було виділено такі функціональні блоки (ФБ, рис. 3):

- ФБ 21 «Виконати реєстрацію ЕКГ»;
- ФБ 22 «Виконати передобробку ЕКГ»;
- ФБ 23 «Виконати аналіз ЕКГ»;
- ФБ 24 «Сформувати діагностичні ознаки».

Як і роботи 2 загалом управлінням всім ФБ 21-24 є нормативні документи.

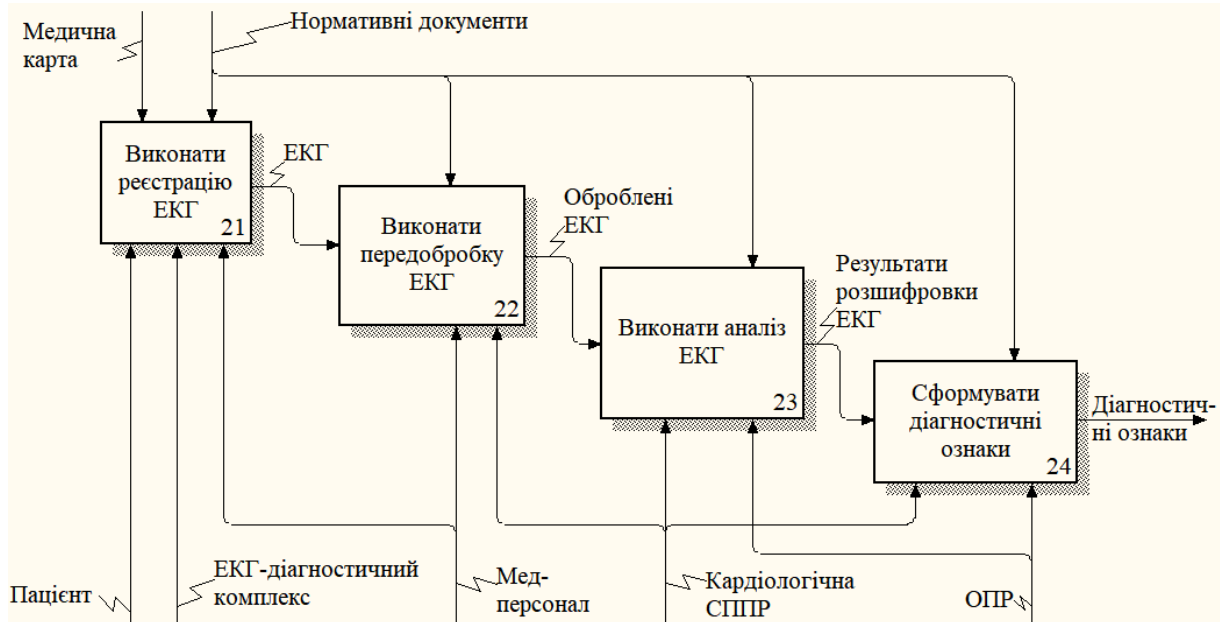


Рис. 3. Декомпозиція роботи 2 «Виконати реєстрацію та аналіз ЕКГ»

За допомогою ЕКГ-ДК медперсоналом з пацієнта записуються необхідні відведення ЕКГ, тому виходом ФБ 21 є необроблені цифрові ЕКГ. У цьому, як було зазначено вище, ФБ 21 немає входів, так як дані з медичної картки (наприклад, система відведень, тип дослідження та тривалість реєстрації) використовуються для налаштування ЕКГ-ДК, тобто є керуванням. Необроблені ЕКГ надходять на вхід ФБ 22, в якій медперсоналом за допомогою відповідних модулів КСППР методами цифрової обробки сигналів (механізми) здійснюється різного роду попередня обробка ЕКГ (наприклад, низькочастотна та високочастотна фільтрація, розділення, тощо) [12]. З виходу ФБ 22 оброблені відведення ЕКГ надходять на вхід ФБ 23, в результаті виконання якого оцінюється ритм серцевих скорочень, визначається електрична вісь серця, виконується розмітка сигналу та визначаються амплітудно-часові параметри знайдених структурних елементів ЕКГ (наприклад, довжина RR-інтервалу, поляризація, амплітуди та тривалості зубців P, Q, R, S та T, висота сегмента ST, тощо) [13, 14]. Аналіз ЕКГ може проходити як в автоматичному, так і напівавтоматичному або ручному режимах з використанням відповідних інтелектуальних модулів КСППР. В автоматичному режимі ОПР лише підтверджує правильність результатів аналізу ЕКГ, який виконує КСППР, тобто підтверджує, що електрична ось серця, усі зубці та компле-

кси ЕКГ знайдені правильно та їх параметри визначено коректно. Якщо використовується напівавтоматичний режим аналізу ЕКГ, то після виділення структурних елементів ОПР проводить корекцію результатів аналізу за допомогою КСППР, тобто коригує значення частоти серцевих скорочень, електричної осі серця, зазначає пропущені структурні елементи та/або прибирає помилкові мітки. У разі використання ручного режиму аналізу ЕКГ повністю виконується ОПР з використанням інтерактивного інтерфейсу КСППР. Таким чином, ОПР та КСППР є механізмами ФБ 23. Параметри структурних елементів, які отримані в результаті виконання ФБ 23 подаються на вхід ФБ 24. В результаті виконання ФБ 24 формуються необхідні діагностичні ознаки (наприклад, наявність і тип екстрасистол, ознаки пароксизмальних порушень ритму серця, ознаки миготливої аритмії, подовжений інтервал P-R, блокада правої або лівої ніжок пучка Гіса, тощо). При цьому всі рішення приймає ОПР, використовуючи КСППР напівавтоматичному або ручному режимах. У першому випадку ОПР має можливість коригувати рішення, вироблене КСППР, тоді як у другому – КСППР використовується як інформаційно-пошукова система. У ФБ 24 автоматичний режим КСППР зазвичай не використовується, тому що нескоректовані помилки, що виникають на даному етапі, згодом можуть призвести до помилок діагностики 1-го

та 2-го роду, що знижує ефективність проведеного ЕКГ дослідження та є критичним для вибору подальшої тактики лікування.

В результаті декомпозиції роботи 3 «Виконати діагностику» було виділено такі ФБ (рис. 4):

ФБ 31 «Знайти попередні дослідження»;

ФБ 32 «Проаналізувати діагностичні ознаки»;

ФБ 33 «Оцінити динаміку»;

ФБ 34 «Оцінити ефективність лікування»;

ФБ 35 «Прийняти рішення».

Як і для роботи 3 загалом управлінням всім ФБ 31-35 є нормативні документи.

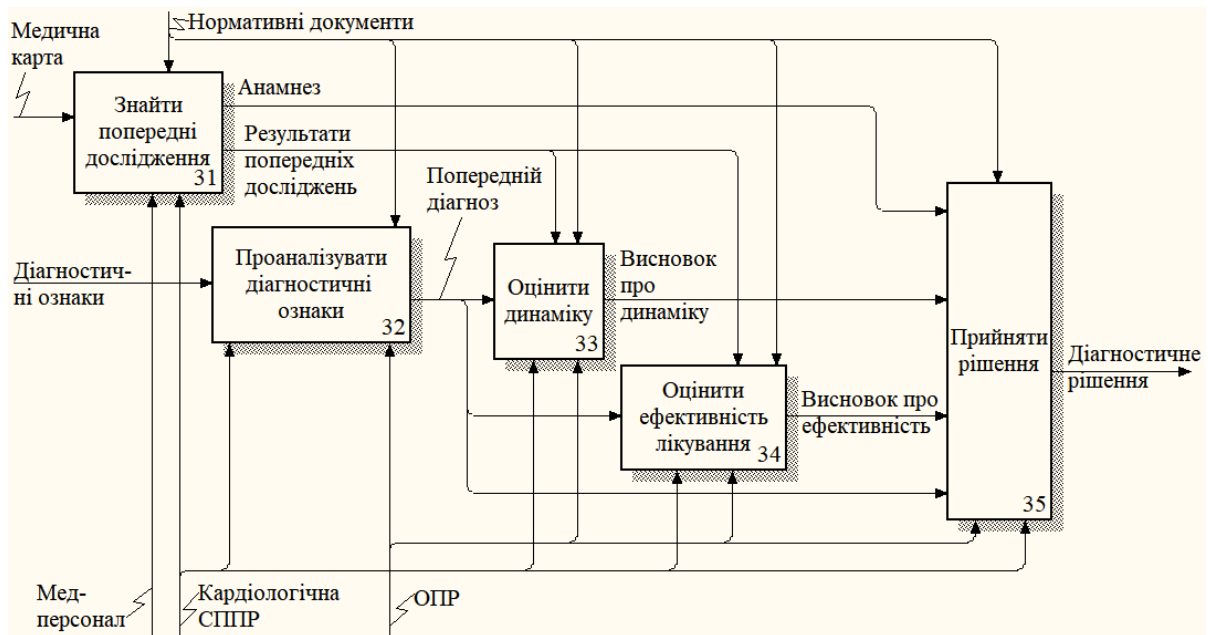


Рис. 4. Декомпозиція роботи 3 «Виконати діагностику»

Якщо пацієнт проходить ЕКГ дослідження повторно або багаторазово (наприклад, скринінг або оцінка динаміки розвитку деякого захворювання ССС), то для вироблення повноцінного діагностичного рішення ОПР необхідно отримати дані про попередні дослідження. Тому на вхід ФБ 31 надходить інформація з медичної карти, а медперсонал за допомогою КСППР (механізми) виконує пошук даних про попередні дослідження (вихід). Якщо попередні дослідження були знайдені, ці дані є управлінням ФБ 33 і 34, які описані нижче. Крім того, з медичної карти вибираються дані анамнезу, які є одним із входів ФБ 35, який також описаний нижче. Як було зазначено вище, діагностичні ознаки, отримані в результаті виконання роботи 2, є входом для роботи 3, а зокрема, надходить на вхід ФБ 32 (рис. 2 та 4). На цьому етапі ОПР (механізм) також може використовувати КСППР (механізм) як напівавтоматичному, так і в ручному режимах. У першому випадку використовуються інтелектуальні модулі КСППР, а в другому – пошукові модулі та модулі для візуалізації ЕКГ та даних. Результатом виконання ФБ 32 є попередній діагноз (вихід), що є входом ФБ 33-35. Якщо в результаті виконання ФБ 31 було знайдено попередні дослідження, то далі можуть бути виконані ФБ 33 (якщо попередні дослідження проводилися в результаті, наприклад, скринінгу) та/або ФБ 34 (якщо попередні дослідження проводилися після лікування). Як було зазначено вище, для виконання ФБ 33 і 34 дані про результати попередніх досліджень (вихід ФБ 31) виступають як управління, а попередній діагноз (вихід ФБ 32) є входом (рис. 4). З

урахуванням попереднього діагнозу ОПР за допомогою відповідних інтелектуальних блоків КСППР формує висновок про динаміку та/або ефективність лікування (виходи ФБ 33 і 34), які разом з даними анамнезу (вихід ФБ 31) та попереднім діагнозом (вихід 2 надходять на вхід ФБ 35). Якщо попередні дослідження не проводилися, то ФБ 35 виконується тільки на підставі даних про анамнез і попередній діагноз (рис. 4). У ФБ 35 КСППР (механізм) також може використовуватися як в автоматичному, так і напівавтоматичному і ручному режимах, при цьому ОПР (механізм) використовує відповідні модулі КСППР.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У статті розроблено функціональну модель ЕКГ дослідження, яка враховує етапи обробки відведень ЕКГ. Декомпозиція робіт «Виконати реєстрацію та аналіз ЕКГ» та «Виконати діагностику» дозволила виділити найважливіші функціональні блоки «Виконати аналіз ЕКГ», «Сформувані діагностичні ознаки» та «Прийняти рішення», від яких залежить якість та ефективність ЕКГ дослідження загалом.

Розроблена функціональна модель ЕКГ дослідження показала, що найвідповідальніші роботи виконуються ОПР з допомогою КСППР, і навіть дозволила виділити функціональні блоки, для реалізації яких необхідні інтелектуальні модулі КСППР. Крім того запропонована функціональна модель ЕКГ дослідження дозволила виділити різні режими

роботи КСППР (автоматичний, напівавтоматичний та ручний).

Запропонована функціональна модель ЕКГ дослідження є основою розробки структури КСППР.

Подальші дослідження спрямовані на розробку інформаційної та структурної моделей ЕКГ дослідження для розробки КСППР з урахуванням особливостей аналізу ЕКГ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fainzillberg L. Development of telemedicine system for remote monitoring of heart activity based on fasegraphy method / L. Fainzillberg, T. Soroka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 6, № 9(78). – P. 37–46.
2. Доан Д.Х. Обзор подходов к проблеме принятия решений в медицинских информационных системах в условиях неопределенности / Д.Х. Доан, А.В. Крошилин, С.В. Крошилина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12 (часть 1). – С. 26–30.
3. Кобринский Б.А. Системы поддержки принятия решений в здравоохранении и обучении / Б.А. Кобринский // Врач и информационные технологии. – 2010. – №2. – С. 39–45.
4. Халафян А.А. Анализ и синтез медицинских систем поддержки принятия решений на основе технологий статистического моделирования: автореф. дис. на соискание науч. степени док. техн. наук: спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)» / А.А. Халафян. – Краснодар, 2010. – 47 с.
5. Филатова А.Е. Проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений в медицине на основе морфологического анализа биомедицинских сигналов и изображений / А.Е. Филатова // Матеріали 14-ї міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми інформатики та моделювання» (ПІМ 2014). – Харків – Ялта: НТУ «ХП», 2014. – С. 13.
6. Povoroznyuk A. Development of alternative diagnostic feature system in the cardiology decision support systems / A. Povoroznyuk, A. Filatova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 3/9(81). – P. 39–44.
7. Povoroznyuk, A. I. The designing of nonlinear filter in the problem of structure identification of biomedical signals with locally concentrated properties / A. I. Povoroznyuk, A. E. Filatova // System studies and information technologies. – 2014. – № 1. – P. 69–80.
8. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ® – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца / Файнзильберг Л.С. // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22–30.
9. Кристаллинский Р.Е. Преобразования Фурье и Лапласа в системах компьютерной математики. Учебное пособие / Р.Е. Кристаллинский, В.Р. Кристаллинский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 216 с.
10. Качмар В.О. Медичні інформаційні системи – стан розвитку в Україні / В.О. Качмар // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2010. – Том 8, № 1. – С. 12–17.
11. Karimipoura, A. Real-time electrocardiogram P-QRS-T detection-delineation algorithm based on quality-supported analysis of characteristic templates / A. Karimipoura, M.R. Homaeinezhad // Computers in Biology and Medicine. – 2014. – Vol. 52. – P. 153–165.
12. Гонтаренко А.А. Адаптивная фильтрация сетевой помехи 50 Гц в системах регистрации электрокардиограмм / А.А. Гонтаренко, В.П. Корнев // Биомедицинские приборы и системы. – 2013. – №4. – С. 45–52.
13. A Novel Approach for Detecting QRS Complex of ECG signal / S.K. Salih, S.A. Aljunid, A. Yahya, K. Ghailan // International Journal of Computer Science Issues. – 2012. – Vol. 9 (6), № 3. – P. 205–215.
14. Povoroznyuk A.I. Formalisation of the problem of the matched morphological filtering of biomedical signals and images / A.I. Povoroznyuk, A.E. Filatova, L.M. Kozak, and other // Information Technology in Medical Diagnostics II - Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2019. – P. 155–162.

Received (Надійшла) 25.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 01.06.2022

Functional model of the electrocardiological study

Mohamad Fahs, Anna E. Filatova

Abstract. Modern medicine is characterized by a sharp increase in the amount of information processed when solving traditional medical problems: from recording biomedical information to making a diagnosis, determining a prognosis, and choosing and correcting treatment tactics based on the results of a diagnosis. The principal advantage of biomedical data analysis using medical information systems is the ability to simultaneously evaluate many parameters with the processing of large amounts of information, which is beyond the power of either a person or automatic analyzers focused only on selected analysis methods. To improve the efficiency of an electrocardiological study, a systems analysis of the process of making diagnostic decisions was performed in order to highlight the critical elements of the cardiological decision support system that can lead to the development of incorrect decisions or refusal to make a decision. **The purpose** of the study is to develop a functional model of an electrocardiological study using the IDEF0 functional modeling methodology. **Results.** A functional model of an electrocardiological study is developed in the form of a context diagram, its decomposition, and the decomposition of the activities «To perform registration and analysis of ECG» and «To perform diagnostics». The developed functional model of electrocardiological study has shown that the most important work is performed by the decision-maker with the help of a cardiological decision support system. In addition, the proposed functional model of electrocardiological study made it possible to identify various modes of operation of a cardiological decision support system (automatic, semi-automatic, and manual). The proposed functional model of electrocardiological research is the basis for developing the structure of a cardiological decision support system.

Keywords: electrocardiological study, functional model, methodology IDEF0, cardiological decision support system, biomedical signal.

А. С. Янко, Р. А. Вигівський

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

СИСТЕМА ЗАХИСТУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

Анотація. В даній статті висвітлено основи захисту інформації у комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу. Розглянуті головні фактори, які необхідно врахувати при проектуванні безпечної мережі. Проаналізовано найпоширеніші методи Інтернет-атак та інших загроз в сучасних комп'ютерних мережах. Досліджено механізми безпеки до набору протоколів Інтернету на різних рівнях, що забезпечують логічний захист одиниць даних, коли вони переміщуються по мережі. Оцінено наслідки для безпеки поточної та нової версії Інтернет-протоколу. А також висвітлено сучасні технології безпеки в Інтернеті та систем виявлення вторгнень в мережу.

Ключові слова: аспекти безпеки, Інтернет-атака, Інтернет-протокол, комп'ютерна мережа, криптографічні системи, мережева безпека, програмного забезпечення мережевої безпеки, система виявлень вторгнень.

Вступ

Завдяки Інтернету та новим мережевим технологіям світ стає все більш взаємопов'язаним. У всьому світі існує величезна кількість особистої, комерційної, військової та урядової інформації про мережеві інфраструктури. Через легкість, з якою інтелектуальну власність можна придбати через Інтернет, безпека мережі стає все більш важливою. Інтелектуальна власність може бути порушена. Існує два типи мереж: мережі передачі даних і синхронні мережі, що складаються з комутаторів.

Інтернет класифікується як мережа передачі даних. Оскільки поточна мережа даних складається з комп'ютерних маршрутизаторів, спеціальні програми, такі як «троянські коні», закладені в маршрутизатори, можуть отримувати інформацію. Оскільки синхронна мережа, яка складається з комутаторів, не буферизує дані, вона не вразлива для зловмисників. Ось чому мережі передачі даних, такі як Інтернет, та інші мережі, які підключаються до Інтернету, надають перевагу безпеці.

На сьогодні мережева безпека це великий набір вимог та політик, які пред'являються до мережевої корпоративної інфраструктури для аналізу її роботи та недопущення доступу до даних зловмисників, зміни цих даних, їх модифікації, а також відмови роботи мережі чи її окремих ресурсів.

Незалежно від масштабу та виду підприємства скрізь, де використовується мережна інфраструктура, необхідні апаратні рішення та програмні продукти, які дозволяють забезпечити безпеку мережі.

У глобальному сенсі необхідно дотримуватися основних принципів, виконання яких дозволить говорити про безпеку мережі на підприємстві, наприклад, захист кінцевих мережеских пристроїв. Забезпечити достатній рівень безпеки пристроєм можна лише у разі використання останніх технологій. Наприклад, персональні комп'ютери можуть бути атаковані за допомогою вірусів, хробаків або вразливостей під час роботи з веб-браузерами. Використання корпоративних антивірусів із оновленими базами сигнатур дозволяє скоротити ризик атаки.

Відмовостійкість таких пристроїв, можливість їх відновлення. Моніторинг інфраструктури – обов'язкова дія захисту мережі.

Для того, щоб розуміти, в якому статусі знаходяться сервіси та програми, необхідно використовувати засоби захисту доступу до мережі.

Постійний контроль пропускнув спроможності мережі. Успішно виконана атака завжди призводить до витрат на відновлення інфраструктури. У разі використання засобів захисту від цільових атак, а також засобів запобігання вторгненням ризику значно зменшуються, і шанси зловмисників на успішну атаку скорочуються. Це, у свою чергу, дозволяє організувати безперервний робочий процес і знизити витрати компанії за простої.

Відмовостійкість внутрішньої мережі організації та можливість її відновлення після атаки. Захистити периметр компанії на 100% все ж таки не вдається, і в такому випадку варто продумати можливість переходу з одного ресурсу на інший у разі відмови першого, причому непомітно для користувачів.

Тема безпеки мережі досліджується шляхом дослідження наступного: архітектура Інтернету та вразливі аспекти безпеки Інтернету; типи Інтернет-атак і заходи безпеки; безпека мережі для мереж, підключених до Інтернету; поточна розробка обладнання та програмного забезпечення мережевої безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інформаційні загрози для комп'ютерних мереж мають стійку тенденцію до зростання та модифікації. На даний час в області виявлення вторгнень в комп'ютерні мережі переважає підхід виявлення зловживань, який ґрунтується на побудові моделі атаки безпосередньо, як на систему в цілому. Однак цей підхід має очевидний недолік, пов'язаний, перш за все, з недостатнім урахуванням впливу комп'ютерного середовища та уразливих аспектів безпеки в Інтернет-архітектурі. Загальнотеоретичні аспекти дослідження безпеки комп'ютерної мережі представлені в публікаціях В. Г. Оліфер, Н. О. Оліфер, О. О. Єрофєєва, В. М. Лопатіна, та інших провідних вчених. Аналізуючи дослідження та попередні напрацювання в даній, було прийнято рішення більш детально описати уразливі аспекти безпеки в Інтернет-архітектурі, а також для оцінки необхідних змін у технології безпеки проаналізувати загрози комп'ютерної мережі та Інтернет-протокол.

Метою статті є розробка надійної системи захисту комп'ютерної мережі на основі використання ефективних механізмів захисту та виявлення атак.

Виклад основного матеріалу

Системні та мережеві технології необхідні для широкого кола застосувань. Для мереж і програм необхідна безпека. Незважаючи на те, що безпека мережі є важливою вимогою, існує значний недолік методів безпеки, які можна легко реалізувати.

Між розробниками технологій безпеки та мережевими розробниками існує «комунікаційний розрив».

Модель інтерфейсу відкритих систем (OSI) лежить в основі проектування мережі, що є добре розробленим процесом.

Протоколи різних рівнів можна легко комбінувати, щоб утворити стеки, які дозволяють розробляти модульну систему.

Реалізація окремих шарів може бути змінена пізніше, не впливаючи на інші шари, що забезпечує гнучкість розробки.

Проектування безпечної мережі, на відміну від проектування мережі, не є добре розробленим процесом. Немає методології для вирішення складності вимог безпеки [1].

Проектування безпечної мережі не дає тих же переваг, що й проектування мережі. Безпека мережі не передбачає захисту обох кінців мережі. Канал зв'язку не повинен бути вразливим для атак під час передачі даних. Потенційний хакер може націлитися на канал зв'язку, отримати зашифровані дані, розшифрувати їх, а потім знову ввести помилкове повідомлення. Захистити середню мережу так само важливо, як захистити комп'ютери та зашифрувати повідомлення.

При проектуванні безпечної мережі необхідно враховувати такі фактори:

- Доступ – авторизованим користувачам надається можливість спілкуватися з певною мережею та з неї.
- Конфіденційність – дані в мережі залишаються конфіденційними.
- Аутентифікація – переконайтеся, що користувачі мережі є тими, за кого себе видають.
- Цілісність – переконайтеся, що повідомлення не було змінено під час передачі.
- Невідомність – переконайтеся, що користувач не заперечує використання мережі.

Ефективний план безпеки мережі розробляється з розумінням проблем безпеки, потенційних зловмисників, необхідного рівня безпеки та факторів, які роблять мережу вразливою для атак. Існує безліч продуктів, які роблять комп'ютер менш вразливим до мережних атак.

Прикладами цих інструментів є шифрування, брандмауери, механізми виявлення вторгнень, керування безпекою та аутентифікації.

Підприємства в усьому світі використовують комбінацію деяких із цих інструментів. «Інтранети» підключені до Інтернету та достатньо захищені від нього.

Інтернет-архітектура сама по собі керує в результаті недоліків мережі розуміння проблем Інтернет-безпеки значною мірою допомагає у розробці безпечних рішень для захисту мереж від Інтернету.

Також необхідно вивчати типи Інтернет-атак, щоб їх виявити та захистити від них. Системи виявлення вторгнень побудовані на основі найпоширеніших типів атак. При вторгненні в мережу пакети вводяться, щоб викликати проблеми з таких причин:

- Неналежне використання ресурсів
- Втручання у призначену функцію будь-якого системного ресурсу
- Отримання системних знань, таких як паролі та логіни, які можна використовувати під час наступних атак.

Безпека даних – це аспект безпеки, який дозволяє перетворювати дані клієнта в незрозумілі дані для передачі. Навіть якщо ці незрозумілі дані будуть перехоплені, для декодування повідомлення потрібен ключ. Певною мірою цей метод безпеки є ефективним.

У минулому міцна криптографія легко зламулася; однак це вже не так. Через розвиток хакерів криптографічні методи повинні постійно розвиватися, щоб залишатися на крок попереду.

Під час передачі шифрованого тексту по мережі вигідно використовувати захищену мережу. Це захистить шифрований текст, зменшуючи ймовірність того, що багато людей спробують зламати код. Захищена мережа також запобігає вставлянню в мережу несанкціонованих повідомлень.

В результаті потрібні жорсткі шифри і жорсткі мережі для атаки.

Організації використовують захищені приватні мережі або «інтранети» через занепокоєння щодо порушень безпеки в Інтернеті. Спеціальна група з розробки Інтернету IETF додала механізми безпеки до набору протоколів Інтернету на різних рівнях. Ці механізми безпеки забезпечують логічний захист одиниць даних, коли вони переміщуються по мережі. Оцінюються наслідки для безпеки поточної та нової версії Інтернет-протоколу. Хоча в протоколі існує безпека, не всі атаки захищені. Ці атаки перевіряються, щоб визначити, чи потрібні додаткові заходи безпеки.

Архітектура IP-безпеки Інтернет-протоколу є стандартизацією Інтернет-безпеки. IP-безпека, або IPsec, відноситься як до нового покоління IP (IPv6), так і до поточної версії (IPv4). Хоча нові методи, такі як IPsec, були розроблені для усунення деяких з найбільш відомих недоліків Інтернету, їх виявляється недостатньо [2].

IPsec – це протокол «точка-точка», в якому одна сторона шифрує, інша розшифровує, і обидві сторони мають однаковий ключ або ключі (рис. 1). IPsec має два режими роботи: транспортний і тунельний режим [3].

Поширені методи Інтернет-атаки. Класифіковано найпоширеніші методи Інтернет-атаки. Деякі атаки, такі як підслуховування та фішинг, отримують знання системи або особисту інформацію. Можливі напади.

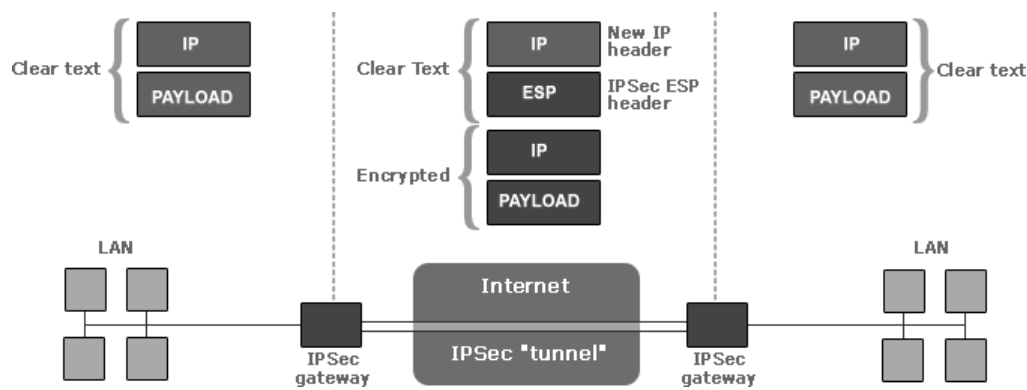


Рис. 1. Візуальне представлення реалізації IPsec для забезпечення безпечного зв'язку

Віруси, хробаки та трояни також можуть перешкодити призначеній роботі системи. Інший тип атаки – це коли ресурси системи використовуються неефективно, що може бути викликано атакою відмови в обслуговуванні (DoS). Інші типи мережевих вторгнень включають атаки на землю, атаки серфінгу та атаки із сльозою.

Ці атаки не так відомі, як DoS-атаки, але вони все ще використовуються в тій чи іншій формі, навіть якщо вони не згадуються по імені [4]. Найбільшими загрозами безпеки комп'ютерних мереж на сьогоднішній день є:

- Віруси: віруси – це програми, що саморозмножуються, що заражають і поширюються файлами. Коли файл відкривається, вірус проникає в систему і стає активним.

- Трояни: трояни можуть здаватися користувачеві нешкідливими програмами, але насправді вони служать шкідливій меті. Трояни зазвичай переносять корисне навантаження, наприклад вірус.

- Підслуховування: підслуховування – це перехоплення комунікацій несанкціонованою стороною. Пасивне підслуховування відбувається, коли людина таємно слухає лише мережеві повідомлення. З іншого боку, активне прослуховування відбувається, коли зловмисник слухає і вставляє щось у потік комунікації. В результаті повідомлення можуть спотворюватися. Цей метод можна використовувати для викрадення конфіденційної інформації.

- Фішинг: спроба отримати конфіденційну інформацію від окремої особи, групи чи організації відома як фішинг. Фішери обманом обманюють користувачів, щоб вони розкрили конфіденційну інформацію, таку як номери кредитних карток, облікові дані онлайн-банкінгу та іншу особисту інформацію.

- Відмова в обслуговуванні: відмова в обслуговуванні – це атака, яка виникає, коли система отримує надмірну кількість запитів і не може спілкуватися з запитувачами. Під час очікування завершення рукостискання система споживає ресурси. Зрештою, система не зможе відповісти на будь-які подальші запити, що зробить її непрацездатною.

- Спуфінг IP: спуфінг означає, що адреса комп'ютера відображає адресу надійного комп'ютера, щоб отримати доступ до інших комп'ютерів. Особистість зловмисника приховується різними способами, що ускладнює виявлення та запобігання.

Підроблені IP-пакети не можуть бути усунені за допомогою поточної технології протоколу IP.

Технології безпеки в Інтернеті. Інтернет-загрози залишатимуться серйозною проблемою у світовому співтоваристві, доки можна отримати доступ до інформації та її передачу через Інтернет. Для боротьби з цими атаками були розроблені різні механізми захисту та виявлення:

- Брандмауер: брандмауер – це загальний механізм контролю кордонів або захисту периметра. Метою брандмауера є блокування трафіку ззовні, але його також можна використовувати для блокування трафіку зсередини. Брандмауер – це перша лінія захисту від зловмисників. Це система, яка запобігає несанкціонованому доступу до або з приватної мережі. Брандмауери можуть бути реалізовані як в апаратному, так і в програмному забезпеченні, або в гібриді обох [5].

- Криптографічні системи. Сьогодні криптографія є цінним і широко використовуваним інструментом в інженерії безпеки. Це передбачало використання кодів і шифрів для перетворення інформації в незрозумілі дані. В результаті ці незрозумілі дані безпечно передаються по мережі.

- Secure Socket Layer: набір протоколів Secure Socket Layer (SSL) є стандартним методом для досягнення високого рівня безпеки між веб-браузером і веб-сайтом. SSL призначений для створення безпечного каналу або тунелю між веб-браузером і веб-сервером, щоб захищати будь-яку інформацію, якою обмінюється в захищеному тунелі. Завдяки використанню сертифікатів SSL дозволяє клієнтам аутентифікуватися на серверах. Щоб підтвердити свою особу, клієнти надають серверу сертифікат.

- Система виявлення вторгнень: система виявлення вторгнень (IDS) – це додатковий захід безпеки, який допомагає в попередженні комп'ютерних вторгнень. Системи IDS можуть бути обидві програмні та апаратні пристрої, які виявляють атаки. IDS продукти використовуються для моніторингу з'єднань, щоб визначити, чи були запущені атаки. Деякі системи виявлення вторгнень (IDS) просто контролюють і оповіщають коли відбувається напад, тоді як інші намагаються запобігти напад.

Сфера мережевої безпеки йде по стопах своїх попередників. З додаванням біометричної ідентифікації використовуються ті ж методики. Біометрія є

більш безпечним методом аутентифікації, ніж паролі. Це може значно зменшити несанкціонований доступ до захищених систем. Програмний аспект мережевої безпеки постійно розвивається. Постійно впроваджуються нові брандмауери та схеми шифрування. Дослідження, що проводяться, допомагають зрозуміти поточні події, а також спроектувати майбутні події в цій галузі. У мережевій безпеці визначено два основних розгортання: розгортання програмного забезпечення та розгортання обладнання.

Набір програм впливає на безпеку в Інтернеті більше за все інше. У майбутньому безпека може нагадувати як імунна система. Імунна система захищає від атак і готується протистояти більш складним ворогам.

Аналогічно, мережева безпека зможе виконувати роль імунна система. Біометричний рух, можливо, почався деякий час тому, але, судячи з усього, він не переслідується агресивно. Багато подій безпеки відбуваються всередині одного набору технології безпеки, які зараз використовуються, з мінімальними змінами. Після стількох років еволюції є деякі лазійки, тобто обхід або зміна заходів безпеки які потрібно змінити і які необхідно забезпечити. Кілька рівнів заходи безпеки можуть запобігти їм.

Висновки

Безпека мережі є важливою сферою, яка набирає обертів, оскільки Інтернет-атаки та інші різновиди загроз зростають в геометричних розмірах. Щоб оцінити необхідні зміни в техніці систем безпеки комп'ютерних мереж, були проаналізовані загрози

безпеки та Інтернет-протокол. Більшість технологій безпеки базується на програмному забезпеченні, але на даний час маємо необхідно додатково використовувати апаратні засоби систем захисту.

Ефективний план безпеки мережі розробляється з розумінням проблем безпеки, потенційних зловмисників, необхідного рівня безпеки та факторів, які роблять мережу вразливою для атак. Існує безліч продуктів, які роблять комп'ютер менш вразливим до мережевих атак. Прикладами цих інструментів є шифрування, брандмауери, механізми виявлення вторгнень, керування безпекою та аутентифікації. Мережеві пристрої повинні бути стійкими до відмов та передбачати можливість швидкого відновлення. Важливо систематично виконувати моніторинг інфраструктури, щоб зрозуміти, в якому стані знаходиться той чи інший пристрій, додаток, сервіс і при необхідності впроваджувати засоби їх захисту. Поточний стан безпеки будь-якої мережі зовсім відносне питання, тому постійно необхідно використовувати нові підходи до безпеки, як апаратні, так і програмне забезпечення, аналізувати трафік мережі та проводити постійні інструктажі безпеки з користувачами мережі. Прогрес систем безпеки комп'ютерних мереж відбувалася не лише створенням нових концепцій та методів, а часто заключається в модифікації тих самих технологій, які вже використовуються.

Найближчим часом поєднання протоколу IPv6 та елементів безпеки, такі заходи, як брандмауери, виявлення вторгнень та процедури аутентифікації будуть успішними для захисту мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Грайворонський М. В. Безпека інформаційно-комунікаційних систем / М. В. Грайворонський, О. М. Новіков – К.: Видавнича група BHV, 2009. – 608 с.
2. Bound (ed.), "IPv6 Enterprise Network Scenarios". IETF Internet Draft. July 2004.
3. Durand, S. Roy, and J. Paugh, "Issues with Dual Stack IPv6 on by Default". IETF Internet Draft. July 2004.
4. Михайлюта С. Л., Степанушко І. В., Бабич Б. О., Ткаченко В. Ю., Лавринович В. С. Дослідження мережевих DOS-атак, що ґрунтуються на використанні протоколу ICMP // Вісник Інженерної академії України. - К.: 2009. – № 2. – С. 146–149.
5. Вертузав М. С., Юрченко О. М. Захист інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу: Навч. посібник / За ред. С. ГЛаптева,— К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2001.— 321 с.

Received (Надійшла) 28.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.04.2022

Computer network protectionsystem

A. Yanko, R. Vyhivskyi

Abstract. This article highlights the basics of protecting information in computer systems from unauthorized access. Because network security is an important area that is gaining momentum, as Internet attacks and other threats grow exponentially. Security threats and the Internet Protocol were analyzed to assess the necessary changes in the security of computer network systems. Most security technologies are based on software, but we currently need to use additional hardware protection systems. The main factors that must be taken into account when designing a secure network are considered. The most common methods of Internet attacks and other threats in modern computer networks are analyzed. The security mechanisms for a set of Internet protocols at different levels, which provide logical protection of data units when they move on the network, have been studied. The security implications of the current and new versions of the Internet Protocol have been assessed. It also covers modern security technologies on the Internet and intrusion detection systems. The advancement of computer network security systems has not only been the creation of new concepts and methods, but often the modification of the same technologies that are already in use. In the near future, a combination of IPv6 and security features, such as firewalls, intrusion detection, and authentication procedures, will be successful in protecting networks. An effective network security plan has been developed with an understanding of security issues, potential attackers, the required level of security, and the factors that make the network vulnerable to attacks. As a result, a reliable algorithm of the computer network protection system has been developed based on the use of effective protection and attack detection mechanisms.

Keywords: security aspects, Internet attack, Internet protocol, computer network, cryptographic systems, network security, network security software, intrusion detection system.

М. М. Герцюк

Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна
Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

МОДЕЛЬ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ РІЧОК З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ, ЩО БАЗУЄТЬСЯ НА ОСНОВІ ЗАДАЧ РЕГРЕСІЇ

Анотація. У статті описаний метод коригування результатів прогнозування забруднення водойм річок, як частина інтелектуального опрацювання результатів, основаних на серії емпіричних гідрологічних рівнянь Харві Джобсона. Обґрунтовані основні принципи, логіка функціонування та процес контекстуальної валідації методу. Для вирішення поставленої мети використані можливості нейронної мережі із застосуванням задачі регресії, як метод визначення коефіцієнту, що коригує основний результат на основі похибки. В основі методу коригування похибки лежить накладення коефіцієнту на деякий результат значення характеристики піку концентрації, виведений для конкретної точки. Моделлю передбачено використання серії емпіричних гідрологічних рівнянь Харві Джобсона, як основного методу прогнозування наслідків забруднення водойм, що є емпіричним та не вимагає деталізованих вхідних даних русла для проведення обчислень. Даний метод є складовою інтелектуальної обробки результату, а не проведення прогнозувань. З використанням нейронної мережі, що функціонує на основі задачі регресії розроблений метод коригування похибки результатів прогнозування забруднення водойм. Визначена можливість використання нейронної мережі з іншими методами, що обчислюють пік концентрації в певній точці в конкретний час.

Ключові слова: оцінка якості водойм, нейронна мережа, русло річки, регресія, прогнозування наслідків забруднення водойм, математичне моделювання.

Вступ

Питання прогнозування наслідків забруднення якості водойм русла річок небезпечними та токсичними речовинами розглядаються в існуючих програмних моделях.

Зазвичай, дані рішення базуються на емпіричних та фундаментальних підходах. В переважній кількості випадків, емпіричні методи створюються при врахуванні обмежень вхідних та вихідних даних. Етап калібрування моделі відбувається на реальних річках та ситуаціях. В результаті, в модель можуть бути введені деякі емпіричні коефіцієнти, що обчислюються при дослідженні закономірності між різними характеристиками. Тому, перевагою емпіричних методів є робота в заданих умовах, на відміну від фундаментальних, що моделюють процеси максимально деталізовано.

Такими емпіричними методами є математична модель, описана в роботі Д.П. Лукаса та Е. ван Біка [0], автоматизовані моделі SWToolbox [2], Visual Plumes [3], MMSOILS [4], RESRAD [4], MEPAS [4].

Деякі методи були розроблені на основі принципів нейронних мереж та машинного навчання. Такі моделі описуються в роботах Yafra Khan, Chai Soo See [5], Md. Saikat Islam Khanad, Nazrul Islam [6], Ali Najah Ahmeda, Faridah Binti Othman [7], Saber Kouadri, Ahmed Elbeltagi, Abu Reza Md. [8] та інші.

Зазвичай, такі моделі є достатньо точними у своїх розрахунках та успішно розробляються для заданих умов. Однак, ці моделі вирішують конкретні, вузькі завдання.

При використанні емпіричних методів існує можливість створення деякої закономірної похибки, що

виникає в результаті використання моделі на конкретному місці річки.

Вирішенням даної проблеми може бути коригуючий результат коефіцієнт, що виводиться для конкретної точки на річці. Таке значення може бути вирішене шляхом створення та навчання нейронної мережі.

Даною моделлю передбачено використання серії емпіричних гідрологічних рівнянь Харві Джобсона [9], як основного методу прогнозування наслідків забруднення водойм, що є емпіричним та не вимагає деталізованих вхідних даних русла для проведення обчислень. Звісно, точність результатів при використанні моделі в визначеному місці русла річки може мати закономірну похибку. Для даної моделі є пікова концентрація (C_p) в певному місці, дистанція (D), час (T_p), через який концентрація набуде свого піку в певній точці водойма річки.

Мета статті. Для вирішення проблеми необхідно розробити нейронну мережу, що коригує основний результат C_p на основі вивченої похибки. Даний метод є методом складової інтелектуальної обробки результату, а не проведення прогнозувань. В основі архітектури нейронної мережі закладена задача регресії, як метод обчислення значення коефіцієнту.

Метод дослідження

В основі методу коригування похибки лежить накладення коефіцієнту на деякий результат значення характеристик піку концентрації C_p , виведений для конкретної точки.

Таким чином, справедливою є така формула:

$$C_{pCor} = C_p * k,$$

де Cp – пік концентрації в конкретній точці, k – виведений коефіцієнт похибки для конкретної точки, Cp_{cor} – кориговане, або очікуване значення піку концентрації в конкретній точці.

Значення Cp є вхідним значенням до даного методу.

Коефіцієнт k може виводитись шляхом навчання проєктованої нейронної мережі.

При розробці такої нейронної мережі беруться до уваги наступні параметри:

- фактор локації, як комплекс можливих факторів, що впливають з особливостей самої точки;
- фактор пори року, як комплекс факторів, що впливають від погодних умов що характерні для конкретного сезону року.

Також, можливе врахування фактору речовини, як додаткового комплексу, що включає визначення фактору закономірності похибки від речовини та впливає на значення похибки. Однак, такий підхід ускладнює логіку нейронної мережі, що означає необхідність формування обширного масиву ситуацій, як для кожної точки та пори року, так і для кожної речовини. Формування такої бази може бути недоречним через можливі обмеження в механізмах збору даних або фактичну відсутність інформації, щодо наявності певних речовин в конкретній точці.

Вхідними даними для навчання нейронної мережі є коефіцієнт похибки, виведений для конкретної ситуації в заданій точці в певну пору року. Формула для обчислення необхідного значення має наступний вигляд:

$$k_{cor} = \frac{Cp}{Cp_{cor}},$$

де k_{cor} - коефіцієнт похибки для конкретної ситуації в заданій точці в певну пору року. Випадок $k_{cor} = 1$ означає відсутність необхідності коригування похибки. На практиці такий випадок є достатньо рідким. Значення піку концентрації Cp_{cor} означає реальну величину зазначеної характеристики для конкретної ситуації в заданій точці. Характеристика Cp є очікуваним значенням, отриманим в результаті проведення обчислень.

Таким чином, формується база даних для навчання, що включає такі характеристики:

- умовний ідентифікатор точки русла річки;
- очікуване значення піку концентрації, отримане в шляхом проведення обчислень;
- реальне значення піку концентрації;
- дата настання надзвичайної ситуації.

Структуруючи цю базу знань, отримуємо серію масивів, що групуються за двома ознаками:

- точка обчислення;
- пора року.

Таким чином, ідеальним результатом є 4 масиви даних для конкретної точки.

Інформація містить значення наступних характеристик:

- очікуване значення піку концентрації;
- реальне значення піку концентрації.

Вищеописана інформація дозволяє розробити архітектуру нейронної мережі.

Вхідними характеристиками є:

- X_1 – фактор локації;
- X_2 – фактор пори року.

Дані змінні можуть приймати значення 0 або 1, що означає необхідність врахування даного фактору при роботі нейронної мережі.

Перцептрон, що працює з описаною метою при описаних обмеженнях показано на рис. 1.

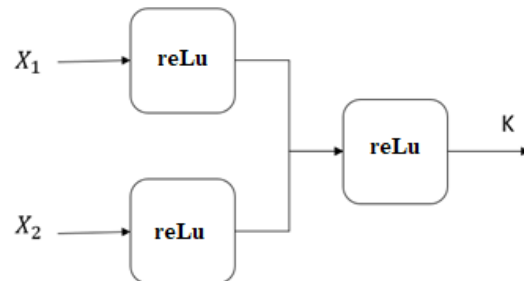


Рис. 1. Перцептрон для виведення коефіцієнту похибки

В основі даної нейронної мережі лежить задача регресії. Нейронна мережі є двошаровою. Перший шар приймає рішення, ґрунтуючись на окремій характеристиці. Другий – сумує значення, отримане від попередніх характеристик та приймає своє рішення, тобто виводить коефіцієнт похибки. В основі функції, що приймає рішення лежить reLu [10]. Така функція активації має наступну формулу:

$$W = \max(0, w * x),$$

де x – деяка характеристика, w – деяка вага, тобто значимість даного фактору, W – результат рішення функції активації.

Таким чином, результатом нейрона першого рівня є деяке значення коефіцієнту w або 0 – що означає, що даний фактор не потрібно враховувати у випадку, якщо $x = 0$.

Нейрон другого рівня, що обчислює коефіцієнт регресії в основі функції активації, також використовує reLu. Приймаючи рішення на основі результату шарів першого рівня шляхом використання суматора, що описаний наступною формулою:

$$W_n = \sum W.$$

Результуючим значенням, а отже коефіцієнтом похибки є наступна функція:

$$k = \sum W_n.$$

Зазначені коефіцієнти w_1 та w_2 для факторів мають два шляхи виведення власних значень:

- отримання значень на основі експертної оцінки;
- навчання нейронної мережі. В цьому випадку, нейронна мережі розширяється додатковим функціоналом коригування власних результатів, тобто навчанням. Очевидним методом, що дозволяє проводити дану операцію є метод оберненого розповсюдження помилки.

Таким чином, загальна архітектура нейронної мережі має схему, що показано на рис. 2.

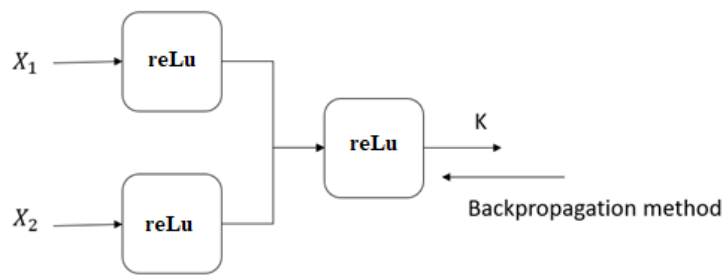


Рис. 2. Загальна архітектура нейронної мережі для виведення коефіцієнту похибки

Валідація результатів

Точність роботи даного методу передбачає правильне визначення коефіцієнту на основі існуючих даних. На основі заданої інформації, нейронна мережа має згенерувати значення, близьке до очікуваного. Таким чином, база даних має містити набір значень, що зберігають основну закономірність локації та пори року. Аномальні, або нетипові значення не варто застосовувати при роботі з даним методом, так як існує ризик збільшення значення похибки і, відповідно, зменшення ефективності роботи мережі. Таким чином, масив даних для навчання варто попередньо аналізувати та фільтрувати за необхідності.

Мережа потребує 3 масиви даних:

- тестовий – масив, що підтверджує працездатність мережі;
- тренувальний – масив, що сформовано на основі попередньо підібраних значень для реальних точок. Це дає можливість оцінки ефективності алгоритму;
- кінцевий – масив, сформований на основі визначених даних у реальних ситуаціях. Обчислені коефіцієнти повинні застосовуватись для реальних ситуацій.

Цей підрозділ має на меті доведення правильності роботи методу. Тому, існує необхідність в розробці тестового масиву даних, на основі якого мережа має сформувати очікуваний результат.

Нехай, еталонним коефіцієнтом є 0.8. Створимо 5 умовних точок, що мають 5 тестових значень. Для тренування достатньо використати 10000 епох. Масив значень згенерованих значень для характеристик реальних та обчислених характеристик описано у табл. 1-5.

Етапи проведення навчання нейронної мережі за заданими тестовими масивами показали результат, показаний в табл. 6.

Визначенні результати мають достатньо близькі значення до еталонного коефіцієнту. В заданому масиву можна виділити результат, що було виведено для 5-ї точки, що близьких до значення 0,76.

Таблиця 1 – Значення для точки № 1

Обчислений пік концентрації	Реальний пік концентрації
28,71	22,968
31,98	25,584
360	288,024
14,35	11,48
0,58	0,464

Таблиця 2 – Значення для точки № 2

Обчислений пік концентрації	Реальний пік концентрації
0,8	0,64
0,98	0,784
9,66	7,728
0,41	0,328
0,016	0,0128

Таблиця 3 – Значення для точки № 3

Обчислений пік концентрації	Реальний пік концентрації
0,71	0,568
0,91	0,728
8,57	6,856
0,38	0,304
0,015	0,012

Таблиця 4 – Значення для точки № 4

Обчислений пік концентрації	Реальний пік концентрації
0,255	0,204
0,33	0,264
3,08	2,464
0,13	0,104
0,05	0,04

Таблиця 5 – Значення для точки №5

Обчислений пік концентрації	Реальний пік концентрації
0,174	0,1392
0,21	0,168
2,09	1,672
0,09	0,072
0,03	0,024

Таблиця 6 – Значення коефіцієнту похибки для різних точок

№ точки	Коефіцієнт похибки
1	0,799974132805534
2	0,7951551855680876
3	0,7965094022097843
4	0,7933086155135414
5	0,7627572392513363

Така поведінка може означати надмірну недостатню кількість епох для навчання.

Однак, підвищуючи кількість епох можна отримати результат надмірної чутливості нейронної

мережі до будь-яких змін. Реальні результати, що мають деяку «дисперсію» значень можуть створити дану ситуацію, що приведе до меншого значення похибки для одних точок та до більшого значення для інших точок. Таким чином, правильність роботи методу може бути порушена.

Масив реальних результатів має бути навченим за наступними етапами:

1. групування масиву даних за точками;
2. групування масивів даних за порами року.

Таким чином, для кожної точки повинно обчислитись 4 результати. У випадку відсутності даних для точки, заданий коефіцієнт має значення 1. Такий підхід дозволить відобразити обчислений результат без урахування похибки. При використанні графічного виведення результату, аналіз діаграми дозволить дослідити ситуацію в цілому, спираючись на кориговані результати сусідніх точок.

Підсумовуючи вищеписані результати та обмеження можна зробити висновок, що для моделі математичного моделювання наслідків забруднення водним нейронна мережа виконує поставлені завдання.

Висновки

Таким чином, використовуючи нейронну мережу, що функціонує на основі задачі регресії розроблено метод коригування похибок результатів прогнозування забруднення водним.

Зокрема, результатом є коригування піку концентрації в певній точці в конкретний час.

Метод використовується, як частина інтелектуальної обробки результату, що працює в парі з серією емпіричних гідрологічних рівнянь Харві Джобсона.

Також, існує можливість використання описаної нейронної мережі з іншими методами, що обчислюють пік концентрації в певній точці в конкретний час.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Loucks D.P., van Beek E. Water Resource Systems Planning and Management, 2017. DOI:10.1007/978-3-319-44234-1.
2. SWToolbox: A Surface-Water Toolbox for Statistical Analysis of Streamflow Time Series, Chapter 11 of Section A, Statistical Analysis, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation, Virginia, USA, 2018.
3. Frick W.E., Roberts P.J.W., Davis L.R., Keyes J., Baumgartner D.J., George K.P. Dilution Models for Effluent Discharges. 4-th Edition (Visual Plumes). Athens, Georgia, 2003, pp. 148. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/VP-Manual.pdf>.
4. Laniak G. F., Droppo J. G., Faillace E.R., Gnanapragasam E.K., Mills W.B., Strenge D.L., Whelan G., Yu C. An Overview of a Multimedia Benchmarking Analysis for Three Risk Assessment Models: RESRAD, MMSOILS, and MEPAS. Risk Analysis. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9202489/>.
5. Yafra K., Chai S. S., Predicting and Analyzing Water Quality using Machine Learning: A Comprehensive Model. 2016 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference. 29 April 2016. Farmingdale, NY, USA. DOI: 10.1109/LISAT.2016.7494106. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7494106>.
6. Md. Saikat I. K., Islam N., Uddin J. et al. Water quality prediction and classification based on principal component regression and gradient boosting classifier approach. Journal of King Saud University. Computer and Information Sciences. 2021. Riyadh, Saudi Arabia. DOI: 10.1016/j.jksuci.2021.06.003. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821001361>.
7. Ali Najah Ahmeda, Faridah Binti Othman, Haitham Abdulmohsin Afan, Rusul Khaleel Ibrahim, Chow Ming Fai, Md Shabbir Hossain, Mohammad Ehteram, Ahmed Elshafie. Machine learning methods for better water quality prediction. Journal of Hydrology, Volume 578, November 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124084. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169419308194?via%3Dihub>.
8. Kouadri, S., Elbeltagi, A., Islam, A.R.M.T. et al. Performance of machine learning methods in predicting water quality index based on irregular data set: application on Illizi region (Algerian southeast). Appl Water Sci, 11, 2021. DOI: 10.1007/s13201-021-01528-9. Available: <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01528-9>.
9. Jobson H. E. Prediction of Travel time and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams, 1996, pp. 69.
10. A Gentle Introduction to the Rectified Linear Unit (ReLU). Available: <https://machinelearningmastery.com/rectified-linear-activation-function-for-deep-learning-neural-networks/>.

Received (Надійшла) 22.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.04.2022

A mathematical modeling model of river's water pollution consequences with use of neural network, which based on regression problem

M. Gertsyuk

Abstract. This article describes a method of river's water pollution forecast results adjusting, as a part of results intellectual processing, based on series of Harvey Jobson empirical hydrological equations. Basic principles, functioning logic and a process of contextual methods validation were reasoned. The capabilities of the neural network using the regression problem as a method of determining the coefficient that corrects the main result based on error were used to solve this goal. The method of error correction is based on the imposition of a coefficient on some result of peak concentration characteristic value, measured for a particular point. The model provides the use of series of empirical hydrological Harvey Jobson equations, as main method for forecasting the effect of water pollution, which has empirical nature, and doesn't require detailed input data for providing measurements. This method is part of the intellectual result processing, rather than making predictions. With use of neural network, which functions on regression problem, method of forecasting water pollution results error correcting. A possibility of neural network use with another methods, which measures peak concentration in certain location on specific time.

Keywords: water quality assessment, neural network, riverbed, regression, forecasting the consequences of water pollution, mathematical modeling.

В. А. Глива¹, Н. Б. Бурдейна¹, С. В. Зозуля²

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

² Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ АЕРОІОННОГО СКЛАДУ ПОВІТРЯ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ КОРИСТУВАЧА ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА З УРАХУВАННЯМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЧИННИКІВ

Анотація. Досліджено динаміку аероіонного складу повітря на робочих місцях користувачів укомплектованих переносним персональним комп'ютером. Встановлено, що за відсутності деіонізуючих та факторів (робота систем вентиляції та охолодження повітря, підвищення концентрації дрібнодисперсного пилу та аерозолей тощо) відбувається значна деіонізація повітря. Причиною є поява електростатичних зарядів на корпусі і клавіатурі ноутбука, поверхні столу та робочому кріслі. В умовах проведення експериментів напруженості електростатичних полів на дисплеї досягали 4,5 кВ/м, клавіатурі – 9,0 кВ/м, поверхні робочого крісла оператора – 6,5 кВ/м. Це спричинило зниження концентрації негативних аероіонів з 910 см⁻³ до 420 см⁻³; позитивних – з 1000 см⁻³ до 390 см⁻³ у присутності користувача, який виконував стандартну роботу. Визначено, що на відстані 0,5–0,6 м від ноутбука концентрації аероіонів стабілізуються на нормативному рівні. Тобто, зоною деіонізації можна вважати простір радіусом до 0,6 м. Нормалізація концентрацій аероіонів можлива за рахунок спрямованого руху повітря у приміщенні з нормативною швидкістю (до 0,4 м/с). Але при цьому, не дивлячись на малі швидкості, можливий дрейф аероіонів у магнітному полі, що може проявлятися під час довготривалої роботи. Доцільно розглянути можливість застосування антистатиків для максимально можливого зниження статичних зарядів на полімерних поверхнях.

Ключові слова: персональний комп'ютер, аероіони, електростатичне поле, іонізація, деіонізація.

Вступ

Якість повітря виробничого середовища є важливим фактором забезпечення високої працездатності користувача, особливо під час виконання відповідальних робіт з керування технологічними процесами, зокрема на головних пультах електростанцій, повітряним і залізничним рухом тощо. Тому, необхідно забезпечити належний аероіонний склад повітря, мінімально досяжні концентрації пилу. Відомо, що засоби обчислювальної техніки, системи вентиляції і охолодження повітря можуть деіонізувати його до ненормативних рівнів. Це потребує досліджень щодо відокремлення несуттєвих чинників впливу на аероіонний режим приміщень, виявлення чинників іонізації повітря та розроблення адекватних заходів, засобів нормалізації концентрації аероіонів обох полярностей та підтримання їх на нормативному рівні впродовж робочого часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концентрації аероіонів обох полярностей регламентуються міжнародним нормативом [1] та національним [2]. Перший вимагає, щоб концентрації обох полярностей не були нижчими за 500 см⁻³, другий – негативні 600 см⁻³, позитивні – 400 см⁻³. З огляду на фактичні значення іонізації, ці відмінності не є суттєвими.

Дослідженню змін концентрацій аероіонів присвячено багато робіт. Так, у [3, 4] визначається можливість нормалізації концентрацій аероіонів з використанням ультразвукового іонізатора без з'ясування причин недостатності іонізації. Роботи [5,6] стосуються змін концентрацій аероіонів у системах вентиляції та впливу деіонізації на стан здоров'я працюючих. Втім, на концентрації іонів впливають як мікрокліматичні показники, та і інші фізичні чинники. У роботі [7] показано, зміни іонізації повітря у залежності від температури та відносної вологості за умови

їх перебування у нормативних межах. У дослідженні [8] докладно проаналізовано застосування штучної іонізації повітря в умовах її складної динаміки. Детально проаналізовано джерела іонізації та деіонізації у приміщеннях офісного типу [9]. Показано, що значний вплив на іонізацію складають електростатичні поля. При цьому, ступені деіонізації різні для різного обладнання та оздоблювальних матеріалів. Це обумовлює доцільність дослідження динаміки аероіонного складу повітря на робочих місцях користувачів переносних комп'ютерів за різних значень інших фізичних чинників.

Мета статті – дослідити зміни концентрацій аероіонів на робочих місцях користувачів персональних комп'ютерів в умовах впливу електростатичних та електромагнітних полів.

Виклад основного матеріалу

Вимірювання виконувалися у приміщенні 8х9х3,5 м, розташованому на четвертому поверсі. Приміщення не обладнане системою примусової вентиляції та кондиціювання повітря. Вікна були зачинені. Вимірювання проводилися за відсутності персоналу (крім оператора комп'ютера, який реєстрував покази приладів). Досліджувався переносний комп'ютер з діагоналлю екрана 17 дюймів. Вимірювання концентрації аероіонів виконувалися лічильником «Сапфір-3К». Вимірювання здійснювалися у зоні перебування оператора, для цього лічильник розташовувався на висоті 0,2 м над поверхнею робочого столу. Враховуючи велику похибку лічильника (до 40 %), оброблення результатів вимірювань серій по 24 вимірювання у кожній, здійснювалися за спеціальною методикою [10]. Вимірювання напруженості електростатичного поля здійснювалося вимірювачем ІЕЗ-П згідно інструкції з експлуатації. Радіаційний фон контролювався приладом СРП-88Н і складав

12 мкР/год. Відносна вологість повітря та температура контролювалися універсальним пристроєм Сх-601Д. Відносна вологість під час експериментів складала 50–52 %, температура 21–23 °С, що відповідає нормативним для експлуатації комп'ютерної техніки.

Вимірювання виконувалися протягом двох днів. Спочатку протягом 30 хв проводилися вимірювання концентрацій аероіонів на робочому місці за відсутності оператора та вимкненому комп'ютері. Далі ноутбук вмикали з постійним використанням задачі у постійному режимі. Спостереження за показами лічильника аероіонів здійснювалися дистанційно (3 м). Наступні вимірювання проводилися за присутності користувача, який виконував звичайну роботу.

Паралельно з вимірюванням концентрацій аероіонів виконувалося вимірювання напруженості електростатичного поля на робочому столі, стільці, корпусі комп'ютера (табл. 1).

Звертаємо увагу, що напруженості електростатичного поля на кріслі змінюються дуже сильно, що може бути обумовлене різними матеріалами одягу операторів. Результати вимірювань концентрацій аероіонів на кожному етапі експериментів наведено у

табл. 2. Було виміряно зміну концентрацій аероіонів з відстанню від робочого місця (рис. 1).

У результаті проведення серії вимірювань у даних умовах встановлена стійка тенденція деіонізації повітря на робочому місці оператора у радіусі 0,5–0,6 м. Для оцінки однорідності отриманих концентрацій на кожному етапі експерименту був розрахований коефіцієнт варіації, який не перевищував 20 % і лише при роботі оператора за комп'ютером цей коефіцієнт складав 28 % для негативних і 21 % для позитивних аероіонів.

Таблиця 1 – Вимірювання напруженості електростатичних полів

Джерело	Напруженість, кВ/м	Знак заряду
Робочий стіл без комп'ютера	0	
Дисплей комп'ютера	4,0–4,5	+
Клавіатура	4,5–9,0	-
Спинка крісла за присутності оператора	2,0–4,0	-
Сидіння крісла	6,0–6,5	-
Лазерний принтер	4,2–4,3	-

Таблиця 2 – Вимірювання концентрацій аероіонів на робочому місці користувача

Місце вимірювань	Концентрація аероіонів (різниця з фоновою концентрацією), см ⁻³		Показник полярності, П
	n ⁻	n ⁺	
Обладнання у приміщенні вимкнене. Результати знімалися дистанційно, на робочому столі лише лічильник аероіонів	910	1000	0,05
На відстані 3 м від робочого місця працює комп'ютер і принтер	770 (-140)	890 (-110)	0,07
На відстані 3 м від робочого місця працює комп'ютер. На робочому столі працює комп'ютер	520 (-250)	800 (-90)	0,2
На відстані 3 м від робочого місця працює комп'ютер. На робочому місці оператор працює за ноутбуком	420 (-100)	390 (-410)	-0,04

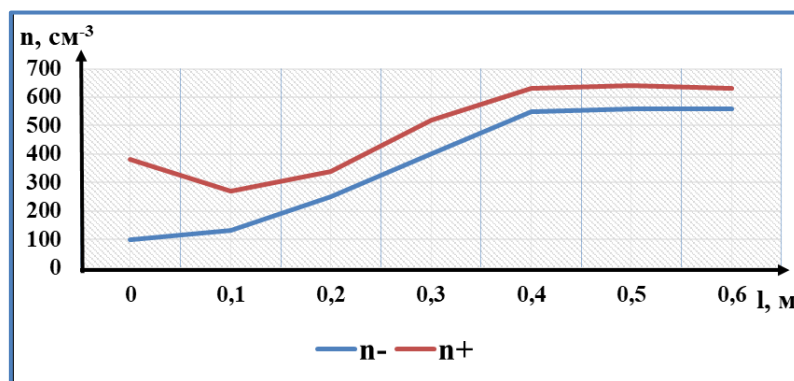


Рис. 1. Зміна концентрацій аероіонів з відстанню від комп'ютера

Фонові концентрації аероіонів обох полярностей в тестовому приміщенні значно вищі за мінімально допустимі і мали коефіцієнт полярності притаманний природному повітрю. Але рівні електростатичних полів значно перевищували гранично допустимий (500 В/м).

При цьому навіть комп'ютер, на якому реєстрували результати вимірювань (2,5–3,0 м від робочого місця) впливав на аероіонний режим приміщення. Увімкнений ноутбук спричинив подальше зниження

концентрацій аероіонів внаслідок наявності електростатичного поля. Коефіцієнт варіації концентрацій аероіонів на усіх етапах вимірювань не перевищував 20 %, що свідчить про мінімальний вплив сторонніх чинників за винятком електростатичного поля. Під час роботи оператора, швидше за все за рахунок трибоелектричного ефекту вплив електростатичних полів на концентрації аероіонів підсилювався. При цьому на відстані 0,5–0,6 м концентрації набували фонових значень (принаймні нормативних). Тобто

можна зробити висновок, що потребує корекції якості повітря саме у обмеженій зоні біля робочого місця.

Одним зі способів нормалізації концентрацій аероіонів на робочих місцях може бути зниження градієнтів концентрації спрямованим рухом повітря нормативної швидкості (до 0,4 м/с). Але усі електронні пристрої живляться постійним електричним струмом і генерують відповідні магнітні поля. Не дивлячись на їх малу напруженість, за довготривалої роботи можливі дрейф аероіонів під впливом полів, що потребує подальших досліджень.

Висновки

1. За відсутності впливу деіонізуючих факторів (системи охолодження повітря, наявність дрібно-дисперсного пилу, аерозолей тощо) концентрації аероіонів в приміщенні стабільні і перевищують мінімально допустимі значення. Тому достатньо мінімізувати деіонізуючий ефект обладнання робочого місця, задіяного у виробничому процесі.

2. Дослідження довели, що електростатичні поля ноутбука полімерних поверхонь критично впливають на концентрації аероіонів. Генерація електростатичних полів є проявом трибоелектричного ефекту. Дієвим засобом зниження цього впливу є антистатична обробка усіх поверхонь, що досягається або спеціальними сумішами, або вологою обробкою.

3. Доцільним є дослідження впливу постійних магнітних полів на дрейф аероіонів, а також розроблення моделей розподілу концентрацій аероіонів у приміщенні з різною кількістю та схемою розташування робочих місць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 [acting from July 2008]. Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN. 2015. 2 p. URL: <https://buildingbiology.com/site/wp-content/uploads/standard-2015-englisch.pdf>.
2. ДЕРЖАВНІ САНІТАРНІ НОРМИ ТА ПРАВИЛА «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [Electronic resource] // МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ. 2014. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>
3. Ченчевой В.В., Сукач С.В., Ченчева О.О., Федорова Н.С., Григор'єва Д.С. Дослідження параметрів гідроаероіонного складу повітря робочого приміщення з ультразвуковою іонізацією. Вісті Донецького гірничого інституту. 2020. Вип. № 2(47). С. 168–174. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-2-168-175>
4. Черный К. А. К вопросу о методах оценки и коррекции аэроионного состава воздушной среды на рабочих местах операторов ПЭВМ / К. А. Черный // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Медицинские информационные системы». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – № 9 (110). – С. 70–74.
5. Панова О. В., Тихенко О. М., Ніколаєв К. Д., Ходаковський О. В., Сапельнікова О. Ю. Дослідження захисних властивостей металевих електромагнітних екранів та визначення умов їх максимальної ефективності. Системи управління, навігації та зв'язку. 2019. Вип. 5(57). С. 103–107.
6. Exposure to Air Ions in Indoor Environments: Experimental Study with Healthy Adults / Wallner P., Kundi M., Panny M., Tappler P., Hutter H.-P. // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015. Vol. 12, Issue 11. P. 14301–14311. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph121114301>
7. Глива В.А. Вплив мікрокліматичних параметрів на аероіонізацію повітря виробничого середовища / Л.О. Левченко, О.В. Панова, О.М. Тихенко // Науково технічний збірник «Містобудування та територіальне планування», - 2018. Вип. № 68, С.108-116.
8. Касаткіна Н.В., Панова О.В., Ніколаєв К.Д. Інноваційні підходи до нормалізації якості повітря виробничого середовища. Збірник наукових праць «Системи управління навігації та зв'язку». Полтава. 2021. Вип. №4 (66) С. 87-89
9. Болібрех, Б. В., Глива, В. А., Касаткіна, Н. В., Левченко, Л. О., Тихенко, О. М., Панова, О. В., Богатов, О. І., Петруньок, Т. Б., Азнаурян, І. О., & Зозуля, С. В. (2022). Моніторинг та управління концентраціями іонів у повітрі приміщень промислового та громадського призначення. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10(115)), 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>
10. Сукач С. В., Сидоров О. В. Методологічні засади підвищення якості контролю аероіонного складу повітря виробничого середовища // Проблеми охорони праці в Україні. 2016. № 32. С. 127–133.

Received (Надійшла) 14.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Investigation of the dynamics of air ionic composition of air at the workplace of a personal computer user, taking into account electromagnetic factors

V. Glyva, N. Burdeina. S. Zozulya

Abstract. The dynamics of air ionic composition of air at the workplaces of users equipped with a portable personal computer has been studied. It is established that in the absence of deionizing and factors (operation of ventilation and cooling systems, increasing the concentration of fine dust and aerosols, etc.) there is a significant deionization of air. The reason is the appearance of electrostatic charges on the body and keyboard of the laptop, table surface and work chair. Under the conditions of experiments, the electrostatic field strength on the display reached 4.5 kV/m, the keyboard – 9.0 kV/m, the surface of the operator's chair – 6.5 kV/m. This resulted in a decrease in the concentrations of negative air ions from 910 cm⁻³ to 420 cm⁻³; positive – from 1000 cm⁻³ to 390 cm⁻³ in the presence of a user who performed standard work. It is determined that at a distance of 0.5–0.6 m from the laptop the concentrations of air ions stabilize at the normative level. That is, the deionization zone can be considered a space with a radius of up to 0.6 m. Normalization of air ion concentrations is possible due to the directed movement of air in the room with the standard speed (up to 0.4 m/s). But at the same time, despite the low speeds, the drift of air ions in a magnetic field is possible, which can occur during long-term operation. It is advisable to consider the use of antistatic agents to minimize static charges on polymer surfaces.

Keywords: personal computer, air ions, electrostatic field, ionization, deionization.

М. Д. Кацман¹, В. І. Мацюк², П. В. Лапін¹

¹ Акціонерне товариство «Українська залізниця», Київ, Україна

² Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ

Анотація. **Мета роботи** – побудова математичних моделей процесів організації ліквідації наслідків залізничних транспортних подій на основі багатоступінних і багатокомпонентних моделей теорії систем масового обслуговування (СМО). **Результати** – в статті розглянуті математичні моделі СМО з розподілом вхідного потоку розподільних вимог одночасно по кількох каналах обслуговування з визначенням ймовірності обслуговування цих вимог та інших характеристик таких СМО. Модель реалізовано за допомогою агентної симуляції у середовищі AnyLogic University Researcher та компілятора Java. У результаті проведених експериментів на чутливість моделі встановлені закономірності впливу інтенсивностей надходження заявок у СМО та здійснення компонент обслуговування на час перебування заявок в СМО, завантаженість приладів обслуговування та каналів обслуговування. **Висновки.** Використання запропонованих математичних моделей дозволить встановлювати області прийнятних значень ймовірності успішного виконання поставлених з метою прийняття управлінського рішення щодо раціонального використання сил і засобів для організації проведення різнобічних заходів з ліквідації наслідків транспортних подій, проведення ремонтних робіт і технічного обслуговування різноманітної техніки, приладів та озброєння.

Ключові слова: залізничний транспорт, ліквідація наслідків, транспортна подія, ремонтні роботи, система масового обслуговування, система масового обслуговування немарковського типу, компонент системи масового обслуговування, імітаційне моделювання.

Вступ

Ефективне управління процесами ліквідування наслідків аварій і катастроф, проведення різних видів технічного обслуговування різноманітної техніки та обладнання є однією з ключових передумов сталого функціонування залізничного транспортно-комплексу, промислових підприємств, логістичних систем тощо.

Для удосконалення процесів управління матеріальними, людськими, фінансовими та інформаційними потоками під час проведення відновних і ремонтних робіт застосовуються процедури математичного моделювання та комп'ютерної симуляції (імітаційного моделювання) з використанням методів дослідження операцій і теорії систем масового обслуговування.

В роботі [1] проведено дослідження дій аварійних підрозділів залізничного транспорту як процесів функціонування систем масового обслуговування. Авторами встановлені кількісні співвідношення між інтенсивністю впливу небезпечних чинників залізничної аварійної ситуації, часом прибуття, розгортання та продуктивності дій ліквідаційних підрозділів і ефективного виконання ліквідаційних робіт.

В роботі [2] описано цехи з ремонту локомотивів у вигляді багатоканальних систем масового обслуговування (СМО) з обмеженою чергою. Розроблена імітаційна модель такого цеху як об'єкта СМО, що дозволено раціонально використовувати обладнання, робочу силу, а також розподілити час проведення ремонтних робіт.

В роботі [3] розглянуто питання моделювання процесів технічного обслуговування і ремонту технічних систем розподіленої інформаційної системи. Модель оснований на спільному поданні системи, що

обслуговується та її системи технічної експлуатації у вигляді закритої неоднорідної СМО, що складається із СМО двох типів. СМО першого типу моделює процеси функціонування ремонтних органів щодо задоволення отриманих вимог.

Види організації робіт з технічного обслуговування і ремонту обладнання на гірничо-збагачувальних комбінатах розглянуто в роботі [4]. Запропоновано три моделі таких видів організації робіт:

самостійне виконання робіт – одноканальна замкнута СМО,

підрядна форма – багатоканальна СМО з очікуванням,

аутсорсінг – багатоканальна СМО з очікуванням без обмежень на довжину черги з рівномірною взаємодопомогою між каналами.

Це дозволило проаналізувати характеристики кожного виду організації робіт із застосуванням імітаційного моделювання.

Розгляд системи імітаційного моделювання GPSS WORLD задля моделювання роботи багатоканальної СМО з урахуванням відмов здійснено в роботі [5]. Проведено розрахунок середньої зайнятості каналу обслуговування і середньої зайнятості пункту відновлення, а також максимальної черги на відновлення каналів обслуговування.

В роботі [6] розглянута формалізована схема функціонування виробництва, технічного обслуговування і ремонту техніки та обладнання, що складається з двох основних частин і формалізовано опису зовнішнього середовища, поданого вхідним потоком вимог і процесів, як складної СМО з нестационарним і неоднорідним потоком вимог, з різнорідними каналами та із пріоритетним обслуговуванням.

Процес обслуговування та ремонту обладнання на машинобудівному підприємстві з позицій багато-

каналної СМО з чергою розглянуті у роботі [7]. Основні показники СМО дозволили проаналізувати та оптимізувати процес ремонту за умови економії витрат робочого часу.

В роботі [8] описано результати математичного та імітаційного моделювання вузла концентрації (розподілу) транзакцій в логістичній системі формалізовано як СМО типу G/M/1. Результати дослідження свідчать про можливість використання створених моделей для адекватного опису процесу функціонування вузла концентрації транзакцій.

В роботі [9] розглянуто різноманітні типи СМО з неординарними вимогами, які відповідають різним способам протидії зловмисникам з боку підрозділу охорони об'єкту. Дослідження таких СМО дає змогу визначити раціональні значення співвідношень величин кількісного складу підрозділів охорони, інтенсивностей застосування засобів протидії та зосередження додаткових сил і засобів охорони з інтенсивністю проникнення на об'єкт зловмисних угруповань з випадковим числом зловмисників у групі задля забезпечення прийнятної ймовірності виявлення, запобігання і нейтралізації таких угруповань.

Проведений у роботі [10] аналіз характеристик СМО, як характеристик роботи комбайнів у сталому і несталому режимах роботи дав змогу отримати прийнятні час очікування в черзі, її довжину тощо, що дало змогу точніше планувати витрати на технічних сервіс збиральних загонів.

В роботі [11] запропоновано використання моделей теорії систем масового обслуговування для дослідження випробувальних процесів з метою оптимізації управління випробуванням. За основу взята модель багатоканальної СМО безпріоритетного та пріоритетного типів, що дало можливість здійснювати раціональне управління чергою заявок.

В роботі [12] авторами запропонована модель радіо та програмно-комп'ютерного подавлення комп'ютерних мереж армійського корпусу противника в операціях, у якій комп'ютерні мережі представлені як сукупність ієрархічно об'єднаних СМО, а засоби програмно-комп'ютерного подавлення та передавачі перешкод впливають на їх функціонування шляхом перевантаження. Основним комплексним показником ефективності комплексу подавлення обґрунтована ймовірність несвоєчасного отримання штабами противника інформації про оперативно-тактичну обстановку.

В роботі [13] ланцюг постачання зернових формалізовано як агентну імітацію. Зазначений підхід дозволив оптимізувати багатопараметричну задачу стохастичного програмування достатньо складного процесу за критерієм мінімального часу доставлення вантажів. Разом з тим модель справедлива тільки для сталих маршрутів транспортування послідовного ланцюга постачання і не може використовуватись для розгалуженої моделі шляхів сполучення.

На відміну від роботи [13], у роботах [14] та [15] представлено імітаційні моделі для розгалужених мереж залізниць із багатозафазними системами масового обслуговування для централізованого управління парком локомотивів. Моделі дозволяють

оптимізувати розмір парку локомотивів та вагонів вантажного парку, однак не можуть адекватно описати багатоеlementні процеси ланцюгів постачання. В роботі [16] також формалізовано процес руху поїздів розгалуженою мережею, однак представлена модель справедлива тільки для залізничного транспорту, оскільки у більшості формалізує послідовний технологічний процес.

Таким чином, задля моделювання процесів технічного обслуговування різноманітної техніки, проведення відповідних робіт, а також у деяких актах військової справи використовується широкий спектр моделей теорій масового обслуговування та апарат імітаційного моделювання.

Результати досліджень моделювання процесів

Під час моделювання процесів ремонтних і відновних робіт іноді зустрічаються випадки розподілу за певним алгоритмом вимог одночасно ПО кількох каналів (напрямоків) обслуговування, наприклад, надходження до ремонтного органу різних видів техніки, що потребують проведення поточного середнього та інших видів робіт, проведення ліквідації наслідків залізничних транспортних подій для відновлення руху поїздів тощо.

Задля розв'язування таких завдань застосовуються багатоконпонентні СМО, які можуть бути як марковського, так й немарковського типів, здатні обслуговувати потоки безпріоритетних у загальному випадку неоднорідних (змішаних) вимог. При цьому у системі може бути довільна кількість загальних однотипних каналів обслуговування, а у кожному компоненті ще й місць у черзі.

Одні й ті ж канали обслуговування можуть мати різну продуктивність у залежності від типу вимог до обслуговування яких вони залучаються: при надходженні у j-ту компоненту системи однорідних вимог з інтенсивністю λ_j , визначено через інтенсивність λ джерела, у загальному випадку, змішаних вимог. Величина джерела змішаних вимог, що надходять у систему, має інтенсивність

$$\lambda = \sum_{j=1}^L \lambda_j, \quad j = \overline{1, L},$$

де L – кількість компонентів у системі (\cdot).

По суті, багатоконпонентні СМО, у загальному випадку є прикладом СМО, канали якої обслуговують вхідні потоки різнорідних вимог.

Процес обслуговування у СМО кожного компонента складається з кількох етапів (фаз, стадій, періодів) з відповідною тривалістю T_i , повний термін обслуговування

$$T_{\text{обсл}} = \sum_{i=1}^{\zeta} T_i,$$

де ζ – кількість таких етапів, T_i певні розподіли ймовірності з відповідними параметрами, тоді $T_{\text{обсл}}$ буде мати узагальнений розподіл Ерланга з параметрами розподілів ймовірності етапів порядку ζ .

При організації складних різнобічних одночасних заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків залізничних аварійних ситуацій, проведення різнопланових робіт і технічного обслуговування техніки, приладів, озброєння тощо настає необхідність встановлення області прийнятних значень ймовірності успішного виконання поставлених завдань для пода-

льного прийняття управлінського рішення щодо раціонального використання необхідних сил і засобів.

Розглянемо декілька прикладів.

1. Двокомпонентна СМО з М/Е₄/2/3 у першому компоненті та з М/Е₃/1/2 у другому компоненті без обмежень.

Граф станів СМО представлено на рис. 1.

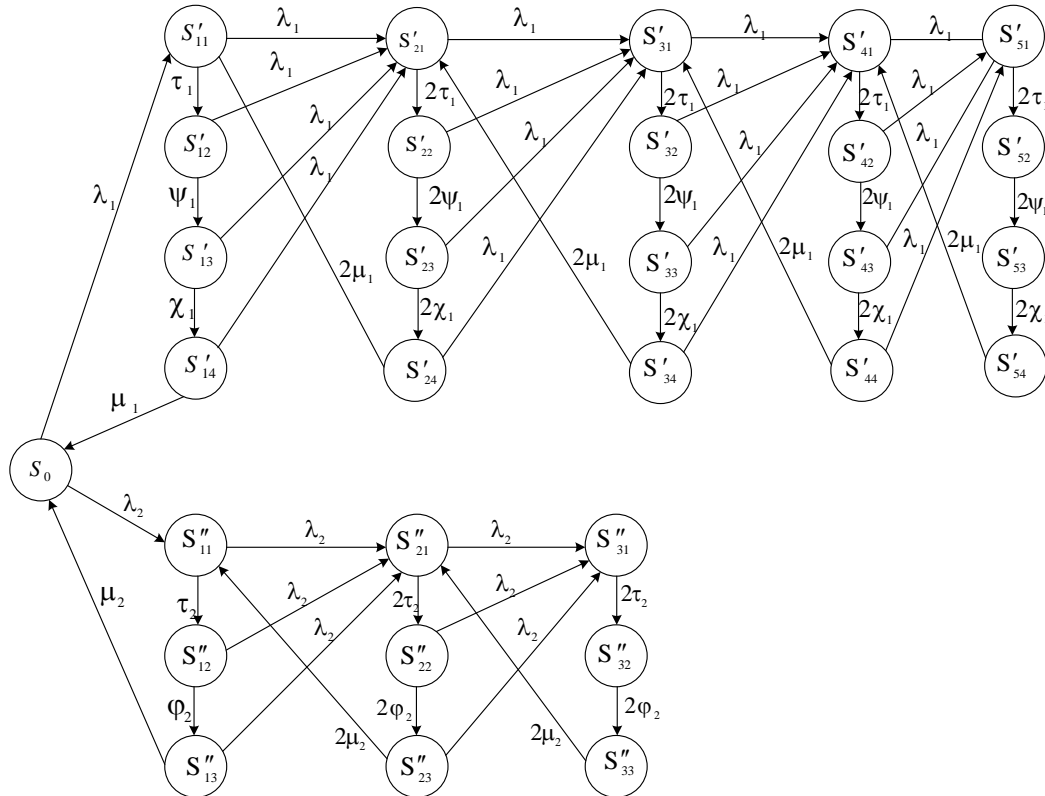


Рис. 1. Граф станів СМО с М/Е₄/2/3 у першому компоненті та з М/Е₃/1/2 у другому компоненті без обмежень

Відсутність обмежень полягає у тому, що вимоги не покидають канал обслуговування під час обслуговування та чергу у період очікування обслуговування внаслідок відсутності браку часу їхнього перебування на обслуговуванні та у черзі.

Використовуючи відомий алгоритм розв'язання рівнянь Колмогорова отримуємо значення ймовірностей станів системи:

$$P'_{1i}, P'_{2i}, P'_{3i}, P'_{4i}, P'_{5i} \quad (i = \overline{1,4})$$

$$\text{та } P''_{1i}, P''_{2i}, P''_{3i} \quad (i = \overline{1,3}).$$

Обслуговування у СМО першого компонента складається з чотирьох фаз T'_1, T'_2, T'_3 і T'_4 , повний час обслуговування

$$T_{обсл} = \sum_{i=1}^4 T'_i.$$

де T'_i мають показові розподіли з параметрами $\tau_1, \eta_1, \psi_1, \chi_1$ та μ_1 відповідно.

Обслуговування у СМО другого компонента складається з трьох фар T''_1, T''_2 і T''_3 повний час обслуговування:

$$T''_{обсл} = \sum_{i=1}^3 T''_i$$

де T''_i мають показові розподіли з параметрами τ_2, ϕ_2 і μ_2 відповідно. Тоді $T'_{обсл}$ має узагальнений розподіл Ерланга четвертого порядку, а $T''_{обсл}$ - третього порядку. Стани СМО першого компонента характеризуються такими ймовірностями:

$P'_1 = \sum_{j=1}^4 P'_{1j}$ – ймовірність того, що обслуговуванням зайнятий один канал (у системі – 1 вимога);

$P'_2 = \sum_{j=1}^4 P'_{2j}$ – ймовірність того, що обслуговуванням зайняті обидва канали (у системі на обслуговуванні знаходяться дві вимоги);

$P'_3 = \sum_{j=1}^4 P'_{3j}$ – ймовірність того, що у системі знаходяться три вимоги, з них дві обслуговуються, третя – очікує у черзі;

$$P_4^i = \sum_{j=1}^4 P_{4j}^i \text{ — ймовірність того, що у системі}$$

знаходяться чотири вимоги, з них дві обслуговуються, дві – очікують у чергах;

$$P_5^i = \sum_{j=1}^4 P_{5j}^i \text{ — ймовірність того, що у системі}$$

знаходяться п'ять вимог, з них дві обслуговуються, три – очікують у чергах.

Стани СМО другого компонента характеризуються такими ймовірностями:

$$P_1'' = \sum_{j=1}^3 P_{1j}'' \text{ — ймовірність того, що обслугову-$$

ванням зайнятий один канал (у системі – одна вимога);

$$P_2'' = \sum_{j=1}^3 P_{2j}'' \text{ — ймовірність того, що у системі}$$

знаходяться дві вимоги, з них одна обслуговується, друга чекає у черзі;

$$P_3'' = \sum_{j=1}^3 P_{3j}'' \text{ — ймовірність того, що у системі}$$

знаходяться три вимоги, з них одна обслуговується, а дві знаходяться у чергах.

Кількість зайнятих каналів:

$$\bar{k}_1 = \frac{P_1' + 2 \sum_{i=2}^5 P_i'}{4}; \bar{k}_2 = \frac{P_1'' + 2 \sum_{i=2}^3 P_i''}{3}.$$

Ймовірність обслуговування

$$P'_{обс} = 1 - (P'_{emp} + P_1'' + P_2'' - P_3''),$$

де

$$P'_{emp} = P_5' - \sum_{i=2}^5 P_{i0}' / 4$$

$$P'_{20} = P'_{12} + 2P'_{13} + 3P'_{14}, P'_{30} = P'_{22} + 2P'_{23} + 3P'_{24},$$

$$P'_{40} = P'_{32} + 2P'_{33} + 3P'_{34},$$

$$P'_{50} = P'_{42} + 2P'_{43} + 3P'_{44};$$

$$\text{Тоді } P'_{обс} = 1 - P_5' + \frac{\sum_{i=2}^5 P_{i0}'}{4} - \left(\sum_{i=1}^3 P_i'' \right).$$

$$P''_{обс} = 1 - P''_{emp} - \sum_{i=1}^5 P_{i0}'',$$

де

$$P''_{emp} = P''_{відм} = P_3'' - \frac{P''_{20} + P''_{30}}{3};$$

$$P''_{20} = P''_{12} + 2P''_{13}; P''_{30} = P''_{22} + 2P''_{23};$$

$$P''_{обс} = 1 - P_3'' + \frac{P''_{20} + P''_{30}}{3} - \sum_{i=1}^5 P_i'.$$

2. Двокомпонентна СМО з М/Е₄/2/2 у першому компоненті та з М/Е₃/1/2 у другому компоненті з обмеженнями на ас перебування в період обслуговування β_{1,2} та очікування γ_{1,2}.

Граф станів СМО представлено на рис. 2.

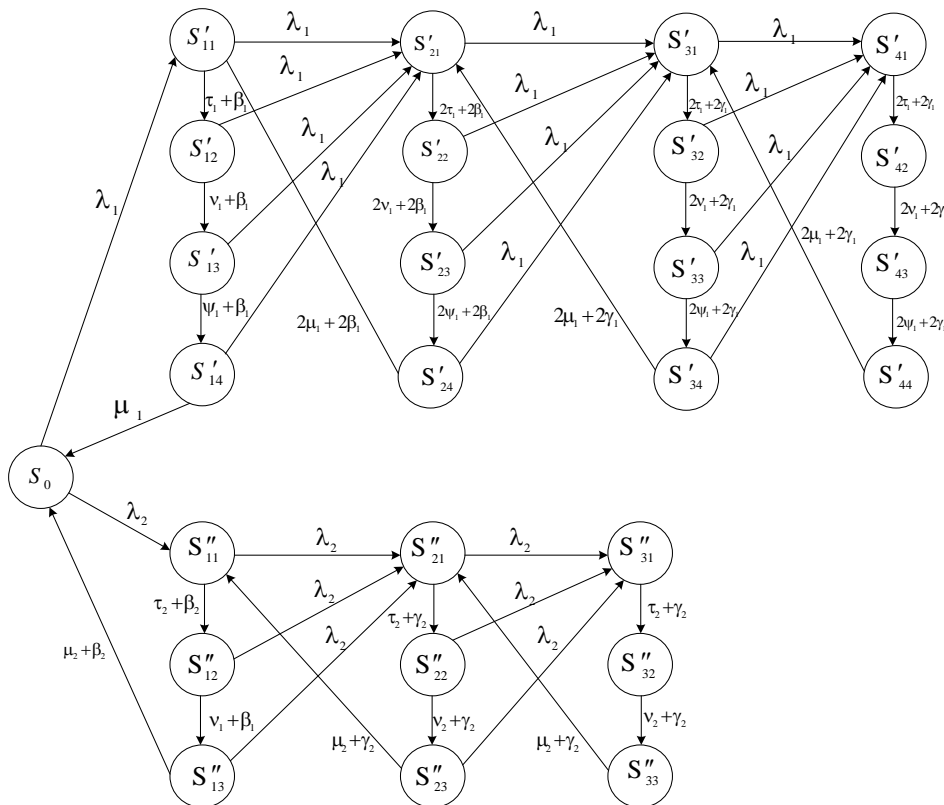


Рис. 2. СМО з М/Е₄/2/2 у першому компоненті та з М/Е₃/1/2 у другому компоненті β_{1,2} ≠ 0, γ_{1,2} ≠ 0

Інтенсивність простіших потоків фаз обслуговування та очікування системи масового обслуговування першого компонента $\tau_1, \nu_1, \psi_1, \mu_1$ та фаз другого компонента τ_2, ν_2, μ_2 :

$$P_1' = \sum_{j=1}^4 P_{1j}' \text{ — ймовірність того, що обслуговуванням зайнятий один канал першого компонента, у системі знаходиться одна вимога;}$$

випадку зайняти один канал першого компонента, у системі знаходиться одна вимога;

$$P_2' = \sum_{j=1}^4 P_{2j}' \text{ — ймовірність того, що обслуговуванням зайняті два канали першого компонента, в системі знаходяться на обслуговуванні дві вимоги;}$$

першого компонента знаходяться три вимоги: з них дві обслуговуються, третя – очікує у черзі;

$$P_3' = \sum_{j=1}^4 P_{3j}' \text{ — ймовірність того, що у системі першого компонента знаходяться чотири вимоги: дві з них дві на обслуговуванні, дві – очікують у чергах;}$$

першого компонента знаходяться чотири вимоги: дві з них дві на обслуговуванні, дві – очікують у чергах;

$$P_4' = \sum_{j=1}^4 P_{4j}' \text{ — ймовірність того, що у системі першого компонента знаходяться чотири вимоги: дві з них дві на обслуговуванні, дві – очікують у чергах;}$$

першого компонента знаходяться чотири вимоги: дві з них дві на обслуговуванні, дві – очікують у чергах;

$$P_1'' = \sum_{j=1}^3 P_{1j}'' \text{ — ймовірність того, що обслуговуванням зайнятий один канал другого компонента, в системі знаходиться одна вимога;}$$

випадку зайняти один канал другого компонента, в системі знаходиться одна вимога;

$$P_2'' = \sum_{j=1}^3 P_{2j}'' \text{ — ймовірність того, що в системі другого компонента знаходяться дві вимоги, одна з них а обслуговуванні, друга очікує в черзі;}$$

другого компонента знаходяться дві вимоги, одна з них а обслуговуванні, друга очікує в черзі;

$$P_3'' = \sum_{j=1}^3 P_{3j}'' \text{ — ймовірність того, що в системі другого компонента знаходяться три вимоги: з них одна – на обслуговуванні, дві – очікують у чергах.}$$

Кількість зайнятих каналів:

$$\bar{k}_1 = \frac{P_1' + P_2' + P_3' + P_4'}{4};$$

$$\bar{k}_2 = \frac{P_1'' + P_2'' + P_3''}{3};$$

Ймовірність обслуговування для першого компонента:

$$P_{обс}' = 1 - P_{втр}' - \sum_{i=1}^3 P_i'';$$

$$P_{втр}' = P_{відм}' + P_{пок.обсл.}' + P_{пок.черг.}'$$

де

$$P_{відм}' = P_4' - \sum_{i=2}^4 P_{i0}';$$

$$P_{20}' = \frac{P_{12}' + 2P_{13}' - 3P_{14}'}{4};$$

$$P_{30}' = \frac{P_{22}' + 2P_{23}' - 3P_{24}'}{4};$$

$$P_{40}' = \frac{P_{32}' + 2P_{33}' - 3P_{34}'}{4};$$

$$P_{пок.обсл.}' = \frac{\beta_1 \bar{k}_1}{\lambda_1}.$$

Середня чисельність вимог, що знаходяться у черзі

$$\bar{r}_1 = \frac{\sum_{r=1}^m r \cdot P_{(n+r)'}}{\zeta_1} = \frac{P_3' + P_4'}{4};$$

якщо $\beta_1 = \gamma_1$, то $P_{пок.черг.}' = \frac{\beta_1 \bar{r}_1}{\lambda_1}$.

$$\text{Тоді } P_{втр}' = P_4' - \sum_{i=2}^4 P_{i0}' + \frac{\beta_1 \bar{k}_1}{\lambda_1} + \frac{\gamma_1 \bar{r}_1}{\lambda_1},$$

$$P_{обсл.}' = 1 - P_4' - \left(\sum_{i=2}^4 P_{i0}' - \frac{\beta_1 \bar{k}_1}{\lambda_1} - \frac{\gamma_1 \bar{r}_1}{\lambda_1} \right) - \sum_{i=1}^3 P_i''.$$

Ймовірність обслуговування для другого компонента:

$$P_{обс}'' = 1 - P_{втр}'' - \sum_{i=1}^4 P_i',$$

$$\text{де } P_{втр}'' = P_{відм}'' + P_{пок.обсл.}'' + P_{пок.черг.}''$$

$$P_{відм}'' = P_3'' - \frac{P_{20}'' + P_{30}''}{3}$$

$$\text{де } P_{20}'' = \frac{P_{12}'' + 2P_{13}''}{3}; \quad P_{30}'' = \frac{P_{22}'' + 2P_{23}''}{3}$$

$$P_{пок.обсл.}'' = \frac{\beta_2 \bar{k}_2}{\lambda_2}.$$

Середня чисельність вимог, що знаходяться у черзі:

$$\bar{r}_2 = \frac{P_2'' + P_3''}{3}; \text{ тоді } P_{пок.черг.}'' = \frac{\gamma_2 \bar{r}_2}{\lambda_2},$$

При умові, що $\beta_2 = \gamma_2$

$$P_{пок.черг.}'' = \frac{\beta_2 \bar{r}_2}{\lambda_2},$$

$$P_{обсл.}'' = 1 -$$

$$\left(P_3'' + \frac{P_{20}'' + P_{30}''}{3} - \frac{\beta_2 \bar{k}_2}{\lambda_2} - \frac{\gamma_2 \bar{r}_2}{\lambda_2} \right) - \sum_{i=1}^4 P_i'.$$

З метою узагальнення поданого вище матеріалу можна помітити, що у L -компонентній системі у сталому режимі функціонування значення ймовірності обслуговування вимог у ζ -му компоненті можна визначити таким чином:

$$P_{обс\zeta}'' = 1 - P_{вмп\zeta}'' - \sum_{\varepsilon \neq \zeta}^L \left(\sum_{c=1}^{n+m} P_{c\varepsilon} \right)_{\varepsilon}$$

де у загальному випадку

$$P_{вмп\zeta} = P_{відм\zeta} + P_{нок.обсл.\zeta} + P_{нок.черг.\zeta};$$

$$P_{відм\zeta} = P_{(n+m)\zeta} - \sum_{v=2}^{n+m} r_{v0\zeta} / \zeta,$$

ζ_{ε} – кількість фаз обслуговування при знаходженні системи в одному з «укрупнених» станів.

$$P_{v0\zeta} = \sum_{k=2, j=2}^{\zeta} (k-1) P_{(v+1)\zeta},$$

$$v = \overline{2, (n+m)}.$$

Для СМО без обмежень, коли $P_{нок.обсл.\zeta} = 0$ та

$P_{нок.черг.\zeta} = 0$, маємо:

$$P_{обс\zeta} = 1 - P_{(n+m)\zeta} - \frac{\sum_{v=2}^{(n+m)} P_{v0\zeta}}{\zeta} - \sum_{\varepsilon \neq \zeta}^L \left(\sum_{c=1}^{n+m} P_c \right)_{\varepsilon},$$

де $\left(\sum_{c=1}^{n+m} P_c \right)_{\varepsilon}$ – сума усіх ймовірностей $P_{c\varepsilon}$ «укруп-

нених» станів ε -компонента,

$$P_{c\varepsilon} = \sum_{j=1}^{\zeta} P_{cj}, c = \overline{1, (n+m)}.$$

Середня кількість каналів обслуговування розраховується як

$$\bar{k}_{\zeta} = \frac{\sum_{i=0}^n P_{c\varepsilon} + n \sum_{r=1}^m P_{(n+r)\zeta}}{\zeta_{\varepsilon}} = \frac{\sum_{L \neq 0}^{(n+m)} P_{c\varepsilon}}{\zeta_{\varepsilon}}.$$

Для СМО з обмеженням:

– ймовірність $P_{нок.обсл.\zeta}$ покидання вимогами

каналу обслуговування в період їхнього знаходження на обслуговуванні визначається як

$$P_{нок.обсл.\zeta} = \frac{\beta_{\zeta}}{\lambda_{\zeta}} \bar{k}_{\zeta},$$

– ймовірність $P_{нок.черг.\zeta}$ покидання вимогами черги в період їхнього очікування у черзі:

$$P_{нок.черг.\zeta} = \frac{\gamma_{\zeta}}{\lambda_{\zeta}} \cdot r_{\zeta},$$

$$r_{\zeta} = \sum_{r=1}^m r P_{(n+r)\zeta} / \zeta_{\varepsilon},$$

β_{ζ} – інтенсивність покидання вимогами каналу обслуговування внаслідок браку часу на період обслуговування;

γ_{ζ} – інтенсивність покидання вимогами черги внаслідок браку часу на очікування;

Тоді

$$P_{вмп\zeta} = \sum_{k=2}^{n+m} P_{v0\zeta} / \zeta + \frac{\beta_{\zeta}}{\lambda_{\zeta}} \bar{k}_{\zeta} + \frac{\gamma_{\zeta}}{\lambda_{\zeta}} r_{\zeta},$$

$$P_{обсл\zeta} = 1 - P_{вмп\zeta}.$$

При застосуванні запропонованих математичних моделей доцільно враховувати такі зауваження:

– у багатокомпонентних СМО продуктивність будь-якого компонента знижується у порівнянні з однокомпонентною системою при однакових інтенсивностях етапів обслуговування. Якщо кожен компонент буде мати однакові значення цих інтенсивностей, то продуктивності багатокомпонентної та однокомпонентної СМО будуть однаковими;

– якщо один з компонентів багатокомпонентної системи є СМО з чергою, то його продуктивність є великою, але це значення продуктивності інших компонентів СМО з відмовами, що викликає «перекос» у роботі усієї системи. Це може бути причиною відмови від застосування у конкретному випадку багатокомпонентної системи.

– при малих значеннях ($0 \leq P_{обсл} \leq 0,1$) вплив на систему в цілому або на окремий компонент інтенсивностей величин покидання вимог у період обслуговування і знаходження у черзі є незначним. При зміні цих величин значення $P_{обсл}$ буде коливатися відносно свого середнього значення.

Реалізація моделі двокомпонентної СМО (рис. 3) здійснено за допомогою агентної симуляції та компілятора Java у середовищі AnyLogic University Researcher.

Процес обслуговування заявок у системі імітується дискретно-подієвим переходом блоків бібліотеки моделювання процесів (рис. 4).

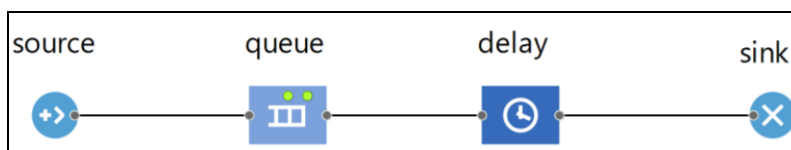


Рис. 3. Агент багатоканальної СМО

Блок *source* є генератором випадкових подій, що імітує надходження заявок у СМО.

Блок *queue* формує чергу із заявок.

Блок *delay* формує обслуговування заявок.

Блок *sink* формує завершення перебування заявок у СМО.

У моделі реалізовано процес паралельного обслуговування заявок відповідно до встановленої кількості каналів обслуговування.

Кількість місць в черзі (блок *queue*) не обмежена.

При надходженні кожної заявки до блоку *delay* реалізується *Java*-код «*sourceServ.inject(1);*» що

відповідає створення нового інформаційного повідомлення щодо потреби в обслуговуванні вільним приладом обслуговування.

Сам процес двокомпонентного обслуговування – залучення приладу – реалізовано у вигляді окремої популяції агентів (рис. 4).

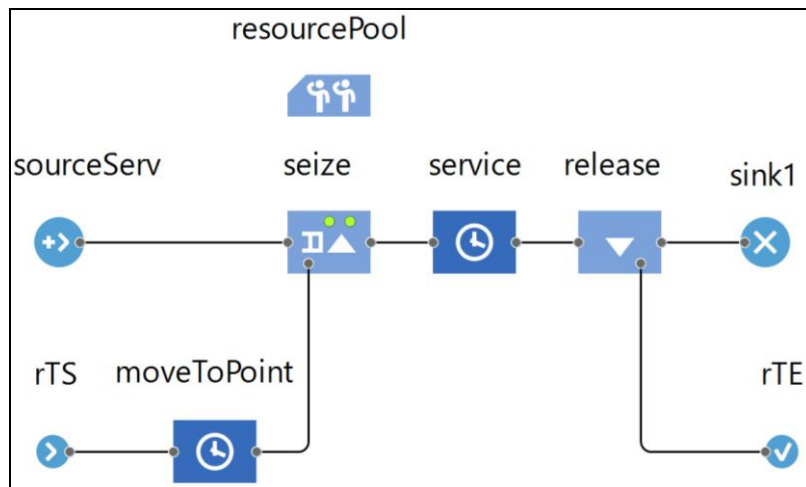


Рис. 4. Агент двокомпонентного процесу обслуговування

Після реалізації *Java*-коду «*sourceServ.Inject(1);*» з блоку *delay* (рис. 3), блок *sourceServ* генерує нове інформаційне повідомлення на потребу в обслуговуванні заявки, що надійшла до СМО (блок *delay*, рис. 3).

Інформаційне повідомлення потрапляє до блоку *seize*, у якому формується черга із відповідних повідомлень.

Разом з тим, блок *seize* керує набором приладів обслуговування, що представлені у вигляді «набору ресурсів» (блок *resourcePool*). При наявності вільного ресурсу, блоком *seize* здійснюється його «захоплення» із подальшою імітацією концентрації (перша компонента, рух до місця обслуговування заявки у СМО – блок *moveToPoint*) та імітацією безпосереднього обслуговування (друга компонента, обслуговування – блок *service*). Після відпрацювання інформаційного повідомлення – надходження його у блок *sink1* – через реалізацію *Java*-коду «*delay.stopDelay(delay.get(0));*» заявка, яку було обслуговано у СМО (блок *delay*, рис. 3) «випускається» з блоку *delay*, що імітує закінчення перебування заявки у СМО.

Для можливості фіксування часу знаходження заявок у СМО, здійснюється замір моменту надходження заявки у СМО (момент виходу агента з блоку *source*, рис. 3 «*agent.timeIn = time();*»). Даний алгоритм дає можливість зафіксувати тривалість знаходження кожної заявки у черзі СМО (блок *queue*) та під обслуговуванням (блок *delay*).

Для пошуку закономірностей впливу інтенсивності надходження заявок до СМО (λ), інтенсивності першої компоненти (ν) та інтенсивності обслуговування (μ) створено експерименти чутливості моделі.

Базова кількість каналів обслуговування прийнята 5, приладів обслуговування 3.

У результаті експерименту досліджувався вплив зміни ν та μ на показники СМО при незмінному значенні λ :

$$\begin{cases} \lambda = const; \\ \nu \in (0\lambda; 3, 0\lambda], \text{ крок } 0,005\lambda; \\ \mu \in (0\lambda; 3, 0\lambda], \text{ крок } 0,005\lambda. \end{cases}$$

Для можливості детального аналізу у екстремальних умовах завантаження системи проводилися додаткові експерименти чутливості із зменшенням шагом зміни λ :

$$\begin{cases} \lambda = const; \\ \nu \in (0\lambda; 0,5\lambda], \text{ крок } 0,002\lambda; \\ \mu \in (0\lambda; 0,5\lambda], \text{ крок } 0,002\lambda. \end{cases}$$

Значення λ прийнято як одна подія в умовну одиницю часу. У результаті отримані результати, наведені на рис. 5 – 7.

Висновок

Використання запропонованих математичних моделей дозволить при організації одночасних різнобічних заходів, наприклад, під час ліквідації наслідків залізничних транспортних подій, проведення ремонтів і технічного обслуговування різноманітної техніки та озброєння, встановлювати області прийнятних значень імовірності успішного виконання поставлених завдань для подальшого прийняття управлінських рішень щодо раціонального використання необхідних сил і засобів.

Подальші дослідження доцільно спрямовувати на розроблення багатокомпонентних і багатоетапних математичних моделей з частковою і повною взаємодопомогою між каналами обслуговування та СМО замкнутого типу.

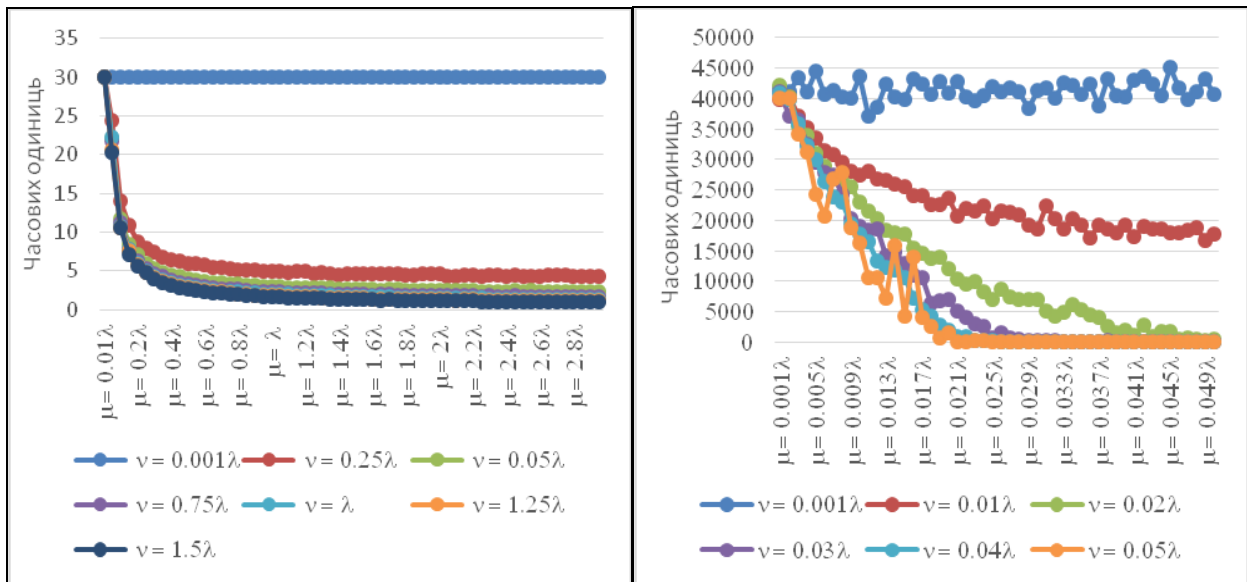


Рис. 5. Час в системі

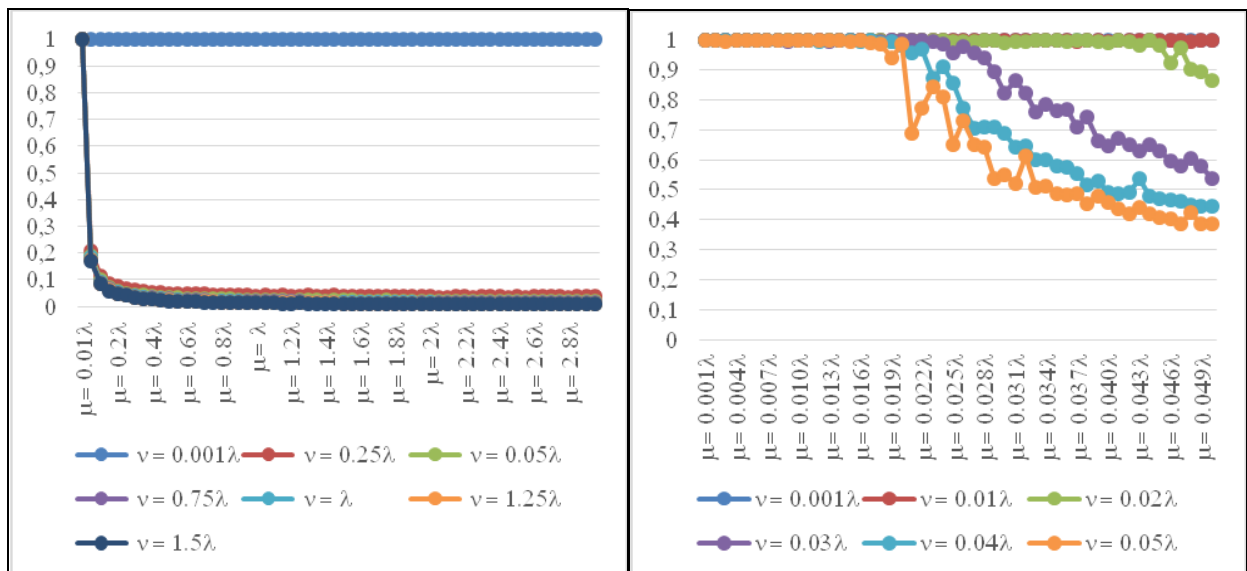


Рис. 6. Завантаження каналів обслуговування

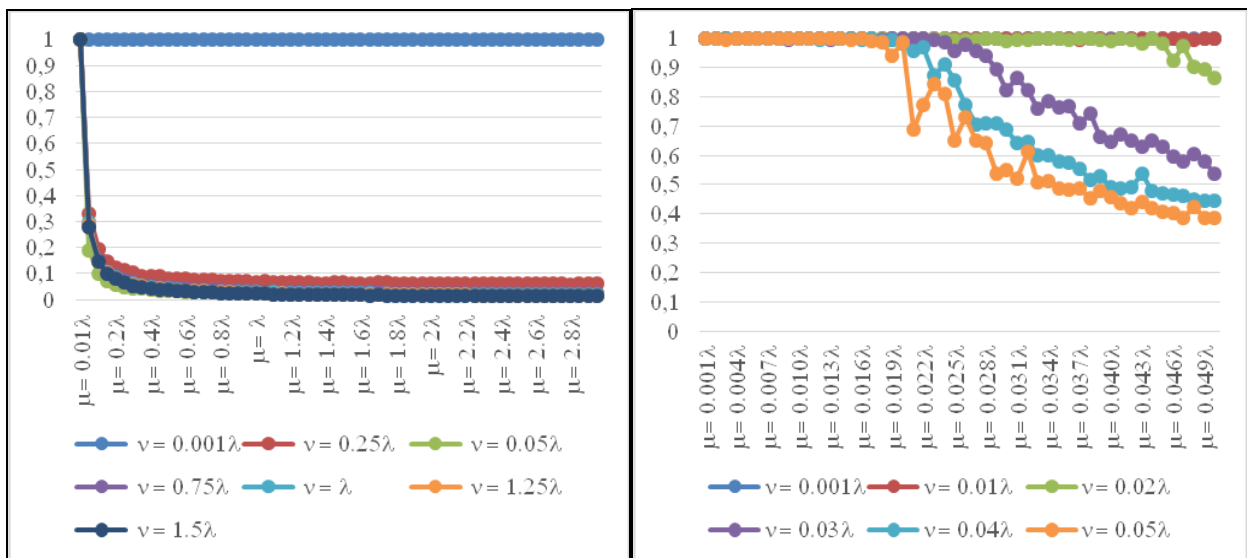


Рис. 7. Завантаження приладів обслуговування

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Управління екологічною безпекою на залізничному транспорті (прикладні аспекти) /М.Д. Кацман, О.І. Запорожець, В.К. Мироненко, В.І. Мацюк, О.В. Третьяков. Київ: ФОП Лук'яненко В.В., ТПК «Орхідея», 2021. 980 с. – ISBN 978-617-7609-61-1
2. Бондарь Б.Е., Очкасов А.Б., Бондарь Е.Б., Гришечкина Т.С., Очеретюк М.В. Моделирование организации ремонта локомотивов методами теории систем массового обслуживания. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. №5 (77), 2018. Режим доступу: <http://eadnurt.diit.edu.ua>bistream.pdf>.
3. Гузенко В.Л., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта технических средств распределенной информационной системы. Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. № 6 (22). 2014. Режим доступу: http://iea.gostim-jo.ru >2014_66/2014_06_11.pdf.
4. Смірнов В.В., Клименко О.О. Обґрунтування застосування моделей теорії систем масового обслуговування щодо систем технічного обслуговування і ремонту гірничо-збагачувальних комбінатів. Економічний вісник НТУ №4.2006. Режим доступу: <http://ev.nmu.org.ua > docs>.
5. Дехтярук М.Т. Комп'ютерне моделювання надійності багатоканальних СМО. Проблеми інформатизації та управління. НТУ, м. Київ, №2 (24). 2008. С. 51-56.
6. Ларін О.М., Субочев О.І., Погорелов М.Г. Формалізація виробничих процесів автосервісних підприємств. Вісті Автомобільно-дорожнього інституту №2(5). 2007. Режим доступу <http://repositse.nuczu.edu>bistream>Ларин>
7. Решетняк Т.В., Нечволода Л.В., Крикуненко К.М. Застосування теорії систем масового обслуговування для оптимізації управління технічним обслуговуванням і ремонтом обладнання. Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». НТУ, Луцьк, Вип. № 43. 2021. С. 115-122.
8. Підгурський О.І. Математичне та імітаційне моделювання процесів функціонування вузла концентрації гібридних логістичних потоків транзакцій. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. №10.2018.С. 92-107.
9. Надточій О.В., Тітова Л.Л. Аналіз багатоканальної системи масового обслуговування при сталому і несталому режимах роботи зернозбиральних комбайнів. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Режим доступу: <http://dglip.nubip.edu.ua>jspui/ pdf>.
10. Katsman M. Approach to Determining the Parameters of Physical Security Units for a Critical Infrastructure Facility /M. Katsman, V. Myronenko, V. Matsiuk, V. Lapin. – San Diego, USA. – Reliability: theory & applications. – Vol. 1.№ 01(61). – 2021. – P. 71–80.
11. Корнієнко І.В., Корнієнко С.П., Троцюк С.М., Казначей С.М., Жирна О.В. Функціональна схема модулю управління вхідним потоком вимог на випробування ОБТ. Збірник наукових праць Державного науково-дослідницького інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Випуск № 3 (5). 2021. С. 41-49. ISSN № 2706-7386.
12. Лучук Е.В. Модель радіо та програмно-комп'ютерного подавлення комп'ютерних мереж противника в операціях. Академія сухопутних військ імені Петра Сагайдачного. Режим доступу: <http://vtz.asv.gov.ua>article>download.pdf>.
13. A. Mazaraki, V. Matsiuk, N. Ilchenko, O. Kavun-Moshkovska, and T. Grygorenko, “Development of a multimodal (railroad-water) chain of grain supply by the agent-based simulation method,” Eastern-European J. Enterp. Technol., vol. 6, no. 3 (108), pp. 14–22, Dec. 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.220214.
14. V. Matsiuk, O. Galan, A. Prokhorchenko, and V. Tverdomed, “An Agent-Based Simulation for Optimizing the Parameters of a Railway Transport System.” ICTERI-2021, Vol I: Main Conference, PhD Symposium, Posters and Demonstrations, September 28 – October 2, 2021, Kherson, Ukraine. 121-128 pp.
15. V. Matsiuk et al., “Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a ‘flexible model,’” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2019, doi: 10.15587/1729-4061.2019.162143.
16. S. Panchenko, A. Prokhorchenko, O. Dekarchuk, D. Gurin, D. Mkrtychian, and V. Matsiuk, “Development of a method for studying the impact of the time reserve value on the reliability of the train schedule based on the epidemiological SIR model,” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1002, no. 1, p. 012016, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1002/1/012016.

Received (Надійшла) 12.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Mathematical models for rationalization of liquidation the consequences of the railway accidents

M. Katsman, V. Matsyuk, P. Lapin

Abstract. The purpose of the article is to build mathematical models for liquidation the consequences of the railway accidents based on multistage and multicomponent queuing system. **Results.** Mathematical models of queuing system (QS) with the distribution of the input flow of distribution requirements simultaneously on several service channels to determine the probability of service of these requirements and other characteristics of such QS are considered. The models are implemented using agent simulation in the Any Logic University Researcher environment and the Java compiler. As a result of the experiments on the sensitivity of the model, the regularities of the influence of the intensities of applications in the queuing system and the implementation of service components during the stay of applications in the, the load of service devices and service channels. **Conclusions.** The use of proposed models allows establishing areas of acceptable values of the probability of successful implementation of the set management decisions on the rational use enable recourses to organize a variety of measures to eliminate the consequences of railway accidents, repairs and maintenance of various equipment, devices and weapons.

Keywords: railway transport, consequences of the railway accidents, repairs, queuing system, QS component, non-Markov type QS, imitation modeling.

О. Г. Левченко¹, В. А. Глива¹, О. М. Тихенко², О. Ю. Арламов¹

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

² Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РІДИННИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Анотація. Досліджено захисні властивості рідинних екологічно безпечних матеріалів для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Матеріали виготовлялися на основі концентрату залізної руди, у якості матриці були використані водно-дисперсна та геополімерна фарби. Випробування захисних властивостей для електричних та магнітних складових електромагнітного поля промислової частоти показали, що коефіцієнти екранування електричного поля за концентрації екрануючої речовини 15–60 % (за вагою) – 1,1–8,6; магнітного поля – 1,2–5,3. Коефіцієнти екранування матеріалу на основі водно-дисперсної фарби нижчі за геополімерну, що можна пояснити окисленням залізовмісної компоненти і зниження електричної провідності. Коефіцієнти екранування електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц складають 1,2–7,9.

Ключові слова: рідинні композиційні матеріали, електромагнітне поле, екранування, захисні властивості, коефіцієнт екранування, концентрат залізної руди.

Вступ

Використання електромагнітної енергії в різноманітних галузях діяльності людини призвело до того, що антропогенні електромагнітні випромінювання у десятки тисяч разів перевищують природний електромагнітний фон. В останні роки спостерігається стає підвищення електромагнітного навантаження на виробниче середовище і довкілля в цілому. Загальновідомо, що несприятливі фізичні фактори, зокрема електромагнітне випромінювання, прямо або опосередковано можуть завдати шкоди здоров'ю людини. Всесвітня організація охорони здоров'я вимагає максимального зниження рівнів електромагнітних полів за принципом ALAR (as low as reasonably – настільки низький, наскільки це розумно досяжно), який раніше стосувався тільки іонізуючих випромінювань. Застосування цього принципу передбачає встановлення розумного рівня небезпеки настільки низьким, наскільки це може бути досягнуто практично з урахуванням соціальних чинників.

На сьогоднішній день, в умовах розширення частотного спектра електромагнітних полів та збільшення їх амплітуд, найбільш дієвим засобом їх зниження є екранування захисними матеріалами, перспективними для цього є композиційні захисні матеріали, розробленню та дослідженню захисних властивостей яких приділяється багато уваги. Але існуючі технології їх вироблення складні, компоненти мають високу вартість, що призводить до великої вартості кінцевого продукту й унеможливає його застосування для облицювання поверхонь великих площ. Крім того, композиційні екрануючі матеріали для захисту людей від впливу електромагнітного випромінювання повинні бути екологічно безпечними. Для вирішення задач екранування окремих приміщень, частин будівель, доцільно дослідити можливість вироблення і застосування екрануючих матеріалів на рідинних носіях. Такі матеріали є більш практичними під час нанесення на поверхні будь-якої форми

з мінімальною кількістю відходів і регулюванням товщини захисного шару.

Тому доцільно дослідити можливості застосування екологічно безпечних рідинних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для екранування електромагнітних полів в приміщеннях доцільно застосовувати рідинні захисні матеріали, які можна наносити на поверхні будь-якої форми з потрібною товщиною. Саме такий підхід використаний у роботі [1], де наведено результати досліджень композиційних матеріалів типу шпатлівки з вмістом вольфраму (70 %), нікелю (18,6 %) та вуглецю (11,4 %). Але такий матеріал призначений для захисту від іонізуючих випромінювань і розроблений для заміщення свинцю. У дослідженні [2] запропоновано матеріал на основі карбону та аерогелю. Однак, за прийнятних захисних властивостей механічні властивості покриттів незадовільні. Розробка [3] і наведені коефіцієнти екранування свідчать про можливість виготовлення захисних шпатлівок та штукатурок введенням у них магнітного та діелектричного наповнювача. Але їх товщини – до 10 мм, а покриття двохшарове. Це ускладнює практичне застосування і підвищує вартість робіт. Грунтовні дослідження [4, 5] показали, що застосування дрібнодисперсного графіту та графітенованої сажі у якості наповнювача полімерної матриці забезпечує високі коефіцієнти екранування у широких смугах частот. Але ці наповнювачі (особливо графітенована сажа) виробляється у малих обсягах і дорогавартісна. Полімерна матриця не завжди забезпечує зручність облицювання поверхонь складної конфігурації. У роботі [6] наведені результати досліджень реологічних та адсорбційних властивостей водно-дисперсних та синтетичних фарб на основі геополімерів.

Все це надає підстави припустити, що такі фарби можливо використовувати у якості основи металовмісних композицій для екранування електромагнітних полів. Доцільним також є проведення дослід-

жень щодо їх коефіцієнтів екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів найбільш поширених частот.

Проведений аналіз дозволяє дійти висновку, що більшість композиційних матеріалів проектується для вузького призначення. За функціональними можливостями та вартістю вони не пристосовані для облицювання поверхонь великих площ та складних конфігурацій. Фактологічний матеріал щодо захисних властивостей рідинних матеріалів на стандартних лакофарбових носіях відсутній.

Відомі аналітичні співвідношення щодо визначення магнітних та електрофізичних сумішей не адаптовані до прогнозування магнітних, електрофізичних властивостей рідинних композиційних матеріалів.

Вирішення наведених задач дозволить сформулювати загальні засади проектування ширококутових екологічно безпечних електромагнітних екранів на рідинному носії.

Постановка завдання. Мета роботи – дослідження умов застосування та ефективності екологічно безпечних рідинних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів.

Виклад основного матеріалу

Для зручності нанесення захисного матеріалу на поверхні у якості матриці було обрано готові фарби двох типів. Перша – акрилова водно-дисперсійна фарба VD-AK-22W (Білорусь) ($\rho=1,03 \text{ г/см}^3$), друга – геополімерна фарба МК 3/18-9.20 (Україна) ($\rho=1,15 \text{ г/см}^3$).

Водно-дисперсійні матеріали не мають у своєму складі органічних розчинників, тому вони вважаються екологічними та нешкідливими для здоров'я. Акрилові водно-дисперсійні фарби стійкі до вологи, температурних перепадів, впливу ультрафіолетового випромінювання. До того ж, таке покриття пропускає повітря, але при тому є досить еластичним і немарким. У разі необхідності стіни, пофарбовані подібним складом, можна без проблем відмити. Акрилова фарба не стирається і не розтріскується, а її лугостійкість має важливе значення при обробці бетонних стін.

Геополімери гарантують екологічну безпеку, оскільки створюються на базі компонентів геологічного походження, та не містять синтетичних домішок. Інноваційні технології виробництва геополімерних матеріалів забезпечують їх ексклюзивні властивості: безпеку для здоров'я людини, надвисоку міцність, стійкість до впливу агресивного середовища, зміни температур.

У якості екрануючого наповнювача використовувався дрібнодисперсний концентрат залізної руди, отриманий методом флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті (вміст Fe – 68–72 %, Fe_3O_4 – 20–22 %, $\rho=6,24 \text{ г/см}^3$).

Відомо [7], що ефективність екранування залежить від дисперсності наповнювача. Дисперсність визначалася експериментально седиментаційним методом. Середній розмір частинок залізородного концентрату після подрібнення складав 22–23 мкм.

Екрануючі суміші виготовлялися перемішуванням фарби з потрібною кількістю наповнювача у лабораторному дисольвері. Було виготовлено два типи екрануючого захисного матеріалу:

– водно-дисперсійна фарба з додаванням залізородного концентрату у вагових кількостях 15, 30, 45, 60 % (матеріал № 1);

– геополімерна фарба з додаванням залізородного концентрату у вагових кількостях 15, 30, 45, 60 % (матеріал № 2);

Усі отримані матеріали наносилися на поверхні. Після висихання товщина захисного шару складала 0,22–0,25.

Властивості захисних матеріалів значно залежать не тільки від хімічного складу та фізичного стану матеріалів, а й амплітуди і частоти поля, що екранується.

Вимірювання напруженості електричної та магнітної складових електромагнітного поля промислової частоти здійснювалося каліброваним вимірювачем. ВЕ-метр модифікації «АТ-004» та «50 Hz» з блоком управління «НТМ-термінал» (Російська Федерація) згідно інструкції з експлуатації.

Для визначення коефіцієнтів екранування електромагнітних полів ультрависоких частот використовувався калібрований вимірювач щільності потоку енергії ПЗ-31 (Російська Федерація) згідно інструкції з експлуатації.

Результати вимірювання коефіцієнтів екранування електричного поля промислової частоти напруженістю 178–180 В/м рідинними екологічно безпечними матеріалами представлені на рис. 1. Результати вимірювання коефіцієнтів екранування магнітного поля промислової частоти індукцією 280–285 мкТ наведено на рис. 2.

Результати вимірювань коефіцієнтів екранування електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц щільністю потоку енергії 178–182 мкВт/см² наведено на рис. 3.

Для високочастотних випромінювань важливим є внесок захисту за рахунок відбиття електромагнітних хвиль у загальний коефіцієнт екранування Коефіцієнти відбиття наведено на рис. 4.

Функції залежності коефіцієнта екранування від вмісту екрануючого матеріалу у процесі проектування захисного матеріалу надають можливість однозначно визначити вміст екрануючого наповнювача у діелектричній матриці для отримання необхідного коефіцієнта екранування як низькочастотного, так і високочастотного електромагнітного поля.

Наведені результати свідчать, що розроблені матеріали придатні для захисту людей від електромагнітних впливів як у виробничих, так і побутових умовах, принаймні за вмісту екрануючої субстанції більше 45 % (за вагою). Вміст наповнювачів за об'ємом є набагато меншим через значні відмінності густин металевмісного наповнювача й використаних фарб.

Тому наповнювач суттєво не впливає на зчеплення фарби з поверхнею, що є важливим для практичного застосування отриманих захисних матеріалів.

Аналіз результатів вимірювань, наведених на рис. 1–3, свідчить, що загальні коефіцієнти екранування за вмістом наповнювача 45 % і 60 % (за вагою) цілком прийнятні для практичного застосування розроблених сумішей.

Деяко нижчі коефіцієнти екранування матеріалу на основі водно-дисперсної фарби можна пояснити частковим окисленням наповнювача у присутності води. Цей ефект не проявляється за таких же концентрацій залізородного концентрату у геополімерній фарбі.

Проведене дослідження має певні обмеження. Вимірювання загальних коефіцієнтів екранування та коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль виконано для типових частот і обмежених концентрацій екрануючої субстанції у діелектричній матриці.

За наявності даних про електромагнітну обстановку у конкретних умовах і необхідних ступенях екранування (порівняння з гранично допустимими значеннями) можливе попереднє розрахункове оцінювання складу екрануючої суміші для виготовлення захисного екрана.

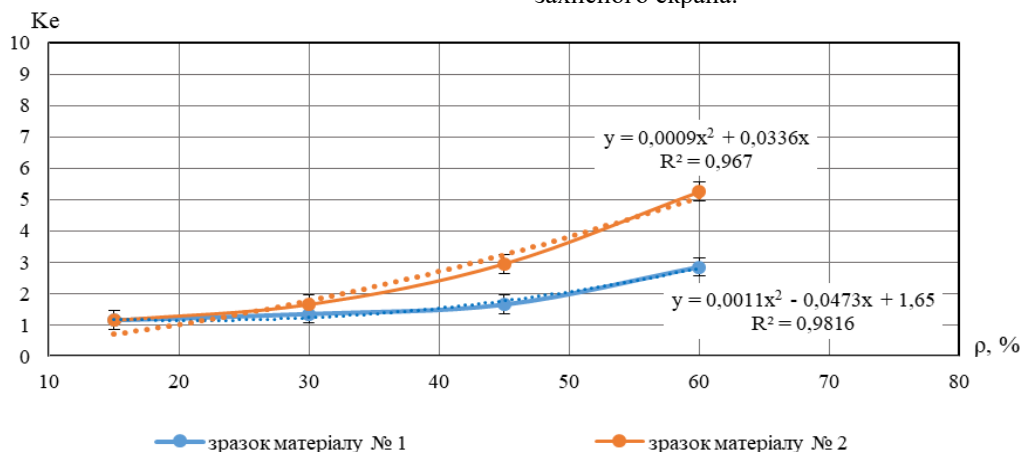


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів екранування K_e електричного поля промислової частоти від вмісту екрануючої субстанції

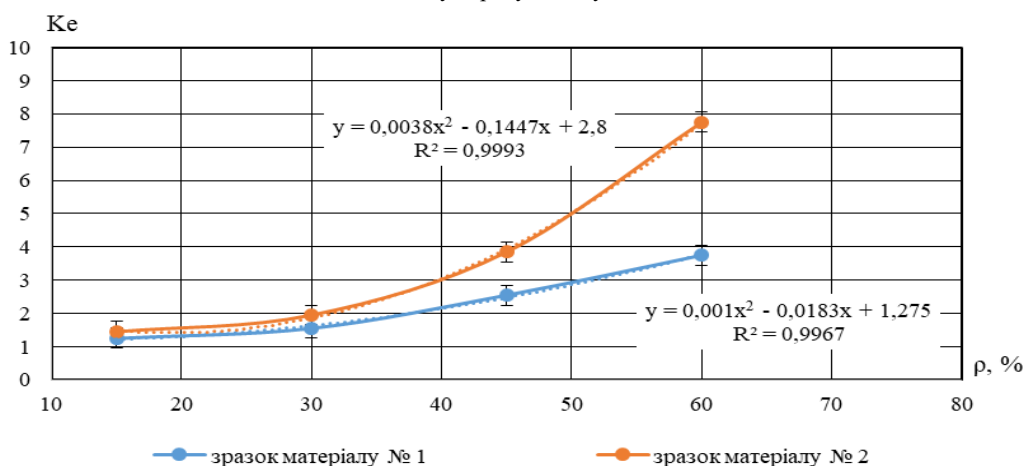


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів екранування K_e магнітного поля промислової частоти від вмісту екрануючої субстанції

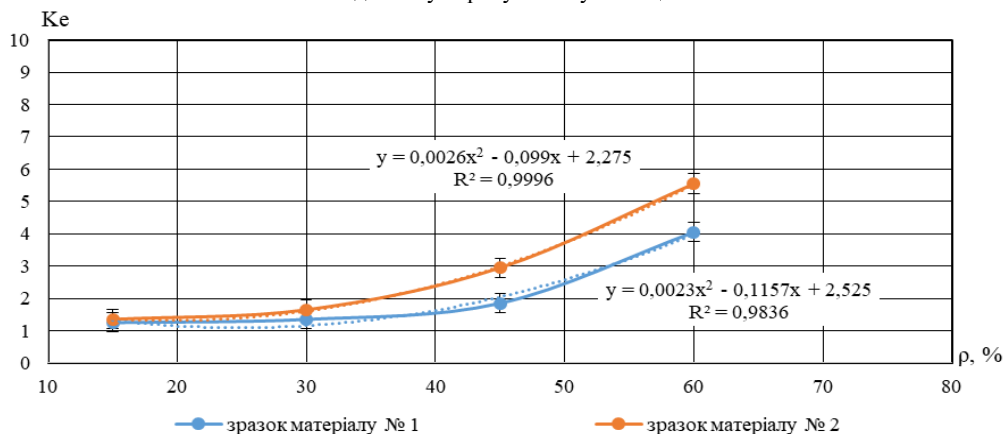


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів екранування K_e електромагнітного поля ультрависокої частоти від вмісту екрануючої субстанції

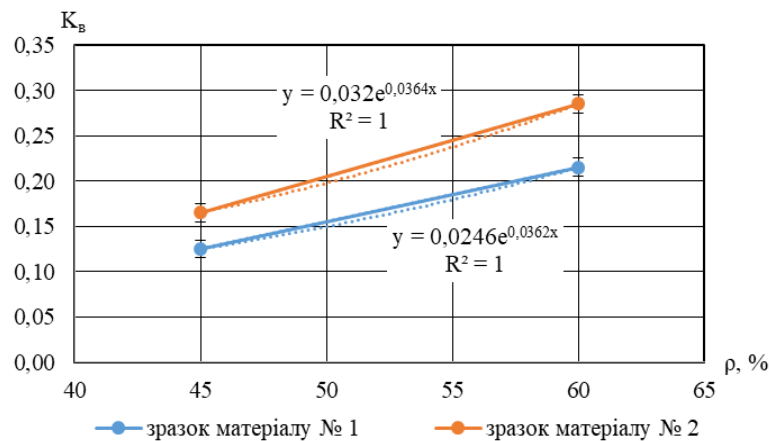


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів відбиття K_B електромагнітного поля ультрависокої частоти від вмісту екрануючої субстанції

Висновки

1. Для виготовлення екологічно безпечних рідинних композиційних для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів найбільш поширених частот доцільне використання серійних фарб з додаванням у якості екрануючої субстанції концентрату залізної руди.

2. Вміст екрануючої субстанції до 60 % (за ва-

гою) для використаних наповнювачів відповідає вмісту за об'ємом до 28 % і суттєво не впливає на адгезію суміші до поверхонь, на які нанесені композиційні матеріали.

3. Загальні коефіцієнти екранування електромагнітного поля промислової частоти шарів суміші завтовшки 0,22–0,25 mm за вмісту екрануючої субстанції 15–60 % (за вагою) для водно-дисперсної фарби складають 1,1–2,9; для геополімерної фарби – 1,1–5,3.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tahmasebi Birgani M. J., Zabihzadeh M., Aliakbari S., Behrouz M. A., Hosseini S. M. Evaluation of Putty Metal for Internal Shielding for Patient Protection in Electron Therapy by Monte Carlo Study, Jundishapur J Nat Pharm Prod. Online ahead of Print; 14(2):e12589. DOI: <https://dx.doi.org/10.5812/jjnpp.12589>
2. Liying Zhang, Shuguang Bi and Ming Liu (December 2nd 2018). Lightweight Electromagnetic Interference Shielding Materials and Their Mechanisms, Electromagnetic Materials and Devices, Man-Gui Han, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82270
3. Беляев А. А., Беспалова Е. Е., Лепешкин В. В. Радиопоглощающие материалы на основе отделочных строительных материалов для защиты от СВЧ излучения базовых станций сотовой связи. *Труды ВИАМ*. 2015. № 6. С. 80–88.
4. Barsukov V., Senyk I., Kryukova O., Butenko O. Composite Carbon-Polymer Materials for Electromagnetic Radiation Shielding. *Materials Today: Proceedings*, 2018, V. 5, No 8, Part 1, pp. 15909–15914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.063>
5. Senyk, I., Kuryptia, Y., Barsukov, V., Butenko, O., Khomenko, V. Development and application of thin wide-band screening composite materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 2020, 21(4), pp. 771–778.
6. Guzii S., Kryvenko P., Guzii O., and Yushkevich S. Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6/6 (102) PP. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185728>
7. Glyva V., Podkopaev S., L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, Iss. 1/5 (91). PP. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>

Received (Надійшла) 22.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.04.2022

Features of application of environmentally safe of liquid compositional materials for screening electromagnetic fields

Oleg Levchenko, Valentyn Glyva, Oksana Tykhenko, Oleksandr Arlamov

Abstract. The protective properties of liquid environmentally friendly materials for shielding electric, magnetic and electromagnetic fields of a wide frequency range have been studied. Materials were made on the basis of iron ore concentrate, water-dispersed and geopolymer paints were used as a matrix. Tests of protective properties for electric and magnetic components of the electromagnetic field of industrial frequency have shown that the coefficients of shielding of the electric field at the concentration of the shielding substance 15–60% (by weight) - 1,1–8,6; magnetic field - 1,2–5,3. The shielding coefficients of the material based on water-dispersed paint are lower than the geopolymer, which can be explained by the oxidation of the iron-containing component and the decrease in electrical conductivity. The shielding coefficients of the electromagnetic field with a frequency of 2.45 GHz are 1.2–7.9.

Keywords: liquid composite materials, electromagnetic field, shielding, protective properties, shielding coefficient, iron ore concentrate.

D. Fedotov, O. Serhieiev, V. Bazeliuk, V. Timofeev, V. Moskalenko, O. Taran

Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv

TECHNICAL ASPECTS OF PSYCHOPHYSICAL STATE SIMULATING OF MILITARY PERSONNEL IN EXTREME AND COMBAT SITUATIONS

Abstract. The **subject matter** of the article is the psychophysical state of a person in an extreme situation. The **goal** of the study is providing recommendations for the behavior of people in the conditions of instantaneous action of the excitation function and the subsequent transient process. **The tasks** to be solved are: to consider the mental and physical state of man, in terms of the basic principles of the theory of transients in electrical circuits and determine the analogy between the state of processes in storage in wildlife and technology and draw conclusions about the possibility of concretizing them mentally and physically; to apply the theoretical provisions of the theory of transients with two energy storage to model the psychophysical components of the human condition in extreme situations and combat situations; based on studies of the relationship between the human psychotype and the degree of inertia for behavior in transition and the assessment of possible time to its completion, to provide recommendations for human behavior, including military, in emergencies and combat situations. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used. The following **results** were obtained: an analogy has been made between the electromagnetic and psychophysical states of a person with the allocation of two-unit processes makes it possible to apply the theoretical provisions of the description of one kind (electromagnetic) to substantiate the behavior of other psychophysical constituents. The implementation of the results of this study allows for the general public with different theoretical background to find out the rules of behavior in difficult life situations. **Conclusions.** The psychophysical state of man includes a number of individual characteristics that are decisive and can be specified by mental and physical characteristics. Unconditional circumstances are the function of arousal and the subsequent transient process, the results of which have objective consequences, because they are due to the action of physical laws and do not depend on subjective desires. Understanding the analogy between the state of processes in wildlife storage and technology is necessary to take into account in everyday activities and, especially, in emergencies and hostilities. Active mental activity should be carried out during the responsible, anxious moments, the time of expectation, etc.: analysis of the situation, search for the best options for completing the task, poems, songs (religions usually recommend prayers). This will eliminate the possibility of losing control of the environment, eliminate the formation of panic, fear and negative mental phenomena. In any case, it is essential not to remain in a state of unconsciousness and apprehension, as the induced function will in this case lead to stupor and the impossibility of responding gracefully to the threat and taking a positive decision. The time of the transition process depends on the psychotype of the person and can be shortened by special training, experience and a conscious attitude towards autotraining.

Keywords: the psychophysical state of human beings, transient processes in electrical circuits, human psychotype, extreme, combat situations.

Introduction

Formulation of the problem and research tasks.

The existing threats to human life and health in an extreme situation that occurs for military personnel in the conduct of hostilities and in an extreme environment lead to the clarification of the conditions for losing control over conscious actions, which ultimately can lead to a failure to complete the task. due to a possible panic state. Human behavior in such difficult life situations is determined not only by its psychophysical properties, but also by overcoming the consequences caused by the actions of the excitation function of the transition process, as the transition from initial (initial) to forced (excited) mode.

By definition, the action of the excitation function at any time $t = 0$ (we believe that this is not expected for humans) for $t = 0$ (i.e., instantaneously), objectively leads to a transient process with consequences that can be described not only in the technical aspect, for example, in electrical engineering, but also, as will be shown in the work, for a person taking into account its psychomotor properties.

This indicates the **relevance** of addressing this issue to the impact of extreme processes on individuals, their actions, for example in a combat setting.

Analysis of recent research and publications.

The first publications on these topics appeared in the middle of the 19th century, when psychophysics was recognized as a separate branch of experimental psychology.

The main regular relations of two series of phenomena: mental and physical, were connected functionally by means of analytical dependencies.

Thus, the results of the conducted research were of a general nature and did not provide practical recommendations for applied fields, especially the military one. Further research was carried out mainly in the fields of philosophy, psychology, pedagogy and other humanistic sciences [1-4].

The **goal** of the study is providing recommendations for the behavior of people in the conditions of instantaneous action of the excitation function and the subsequent transient process

This goal defined the following research **tasks**:

– to consider the mental and physical state of man, in terms of the basic principles of the theory of transients in electrical circuits and determine the analogy between the state of processes in storage in wildlife and technology, draw conclusions about the possibility of concretizing them mentally and physically;

– to apply the theoretical provisions of the theory of transients with two energy storage to model the psychophysical components of the human condition in extreme situations and combat situations; based on studies of the relationship between the human psychotype and the degree of inertia for behavior in transition and the assessment of possible time to its completion,

– to provide recommendations for human behavior, including military, in emergencies and combat situations.

General scientific and special methods of scientific knowledge are used.

1. The mental and physical state of man, in terms of the basic principles of the theory of transients in electrical circuits

1.1 The theoretical basis of the matter is the theory of transient processes with two energy. The theoretical prerequisite for considering the issue is essentially the theory of transient processes with two energy storage devices (in electrical engineering, electric E and magnetic H energies) in the presence of a voltage excitation function.

In practice, by analogy with the well-known electromagnetic theory, one can consider the mental and physical states of a person, which, in general, can also be characterized by two drives. At the same time, the mental component is determined by the activity of the

brain, while the physical component is determined by the physical energy in the muscles.

Indeed, the human brain operates with information and is determined by the corresponding capacitance C_m . Therefore, in comparison, according to this property, it is advisable to correlate it with a capacitor of some electrical capacitance C_{el} . Then the inductance L_m as a characteristic of the accumulated magnetic energy is completely analogous to the concentration of physical energy L_f in human muscles.

1.2. Analogies of the electromagnetic and psychophysical state of a person. The concretization in the name with the separation of two-pronged processes makes it possible to apply the theoretical provisions of the description of one type (electromagnetic) to justify the behavior of other psychophysical components. Analogies of the electromagnetic and psychophysical state, summarized in table 1. As can be seen from the table, according to zero initial conditions, the absence of a capacitor charge is equivalent to the absence of current information in the brain. This type of storage at the time of the appearance of the excitation function is characterized by zero resistance, that is, they are shunted in the short circuit mode, similar to the resistance of a capacitive element (explanation in table 1). At the same time, accumulators of alternative energy (magnetic/physical) with zero initial conditions go into idle mode, which leads to their complete shutdown at the moment $t=0$ of the start of the transient process.

Table 1 – Analogy of state and processes in drives

In technology	In wildlife
The electromagnetic state of the circuit	The Psychophysical state of man
C_{el} – capacitance capacitor	C_m – capacity of information in the brain
L_m – accumulation of magnetic energy	L_f – accumulation of physical energy
Explanation and justification	
At the moment $t = 0$, the excitation function begins a specific transient process	
At the moment $t = 0$ the excitation function is perceived by the action of ultrahigh frequency $\omega \rightarrow \infty$	
Capacitive resistance $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\infty C} \rightarrow 0$. That is, a short circuit (short circuit mode) of this element occurs, regardless of the parameter of the corresponding energy storage device. .	
The resistance (reactive) of the L-energy storage device is described as $X_L = \omega L = \infty L \rightarrow \infty$, at the first moment of the excitation function, the circuit element is idling, depending on the ownership and characteristics of these storage devices.	

Interpretation of the dependences known in electrical engineering is given in tables 2-4. Thus, in the first moment of switching capacitors, as electrical energy storage form short-circuited areas, and the inductors become broken in the circuit, which significantly modifies the whole circuit.

1.3. The first practical conclusion. For the psycho-physical state complete virginity of the brain and lack of physical movements - characterizes the complete exclusion of the ability to think and forces to remain motionless without the ability to escape. Indeed, in this case, the person loses a sense of reality, time, is in a stupor, and in terms of muscle function, there is numbness (during the transition process).

This process is extremely dangerous and therefore requires further study. because it is the first initial stage of panic.

1.4. Electromagnetic and psychophysical states with nonzero initial conditions. The law of conservation of energy in the presence of a capacitor charge (active brain) leads to the law of switching, according to which energy in the capacitance

$$W_c = \frac{CU^2}{2} \quad (1)$$

cannot change instantaneously during the excitation function, and therefore taking into account the first practical conclusion:

Table 2 – Electrical dependences in time


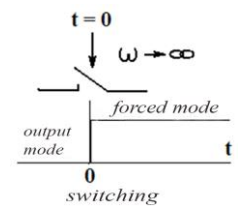

Capacitors	Definition resistance	Under the action of the excitation function	Equivalent state
 <p>$C, \mu F$</p>	$X_C = \frac{1}{\omega C};$ with $\omega \rightarrow \infty X_C = 0$		$X_C \rightarrow 0;$ Short-circuit mode regardless of the capacity C
Inductors	Designation	Excitation function in transition in $t = 0$ for $t = 0$ equivalent to the action of infinite frequency	$X_L \rightarrow 0;$ Idling mode regardless of the inductance L
 <p>L, H</p>	$X_L = \omega L;$ with $\omega \rightarrow \infty X_L = \infty$		

Table 3 – Brain activity during excitation function

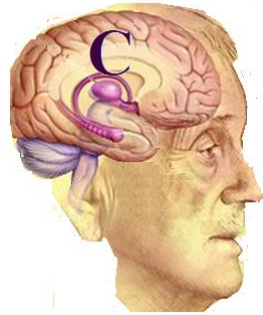

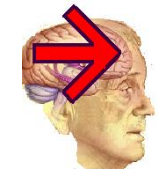
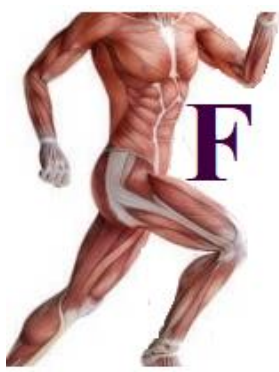


The memory amount C	The action of the excitation function	Brain information	The result of the excitation function
	$X_c = \frac{I}{\omega C};$ with $\omega \rightarrow \infty X_c \equiv 0$	$I = 0$	
		$I \neq 0$	

Table 4 – Muscle activity during excitation function

Force F in muscles	The action of the excitation function	Force in muscles	The result of the excitation function
	$X_L = \omega L;$ with $\omega \rightarrow \infty X_L = \infty$	$F = 0$	
		$F \neq 0$	

- any capacitive drive goes into short circuit mode;
 - this type of storage continues to contain charges (information) other than zero.

Therefore, capacitive C-accumulators, taking into account the preconditions, act as sources of the corresponding energy, generating previously accumulated charge/information.

The commutation law for L as an accumulative transmission, which has energy

$$W_c = \frac{LI^2}{2} \quad (2)$$

under behind the stream $I \neq 0$, so it cannot be changed, that means the follows:

- accumulating physical energy to switch to idle mode;

- at the same time, physical movement, similarly to stream I , takes its direct and significant value, so that it acts as a viable source of energy and continues to function [5, 6].

1.5. The second practical conclusion. For mental and physical conditions, when the brain and muscles are constantly engaged in work, even the exertion of the restlessness will not be able to disrupt the functioning of the muscles and the brain, allowing you to act with competence in extreme situations, keeping under control of the father, both in the execution of the task, and to ensure their own safety and life of their co-workers, blocking the spread of panic in people with zero basic conditions.

Such a commitment and understanding is important for both the experienced and the beginners in the military in emergency situations.

2. Transition processes in psycho-physical representation. Transition processes with two accumulators

The excitation function in the system of two drives, taking into account the processes at $t = 0$ for $t=0$ is (Fig. 1) a prerequisite for transferring the system from initial to forced (excited) state, which, in fact, determines the subsequent transition process.

The transition process is considered complete with an error of up to 1% after 4τ . Where τ is the measure of inertia in the measurement of time for the object / subject.

In practice, the time of the transition process is satisfied $t_{tr} = 3\tau$. The error does not exceed 3%. The latter allows you to estimate for the object, both the excitation time and the subsequent transition to the excited state.

In general, there are three types of transients, which are shown in Fig. 1, where

- 1 – aperiodic;
- 2 – is oscillating;
- 3 - critical modes.

The transition time is $t_{tr} = (3-4)\tau$.

It is known from the theoretical foundations of electrical engineering that the influence factor on the type of transient process is the active resistance of the circuit.

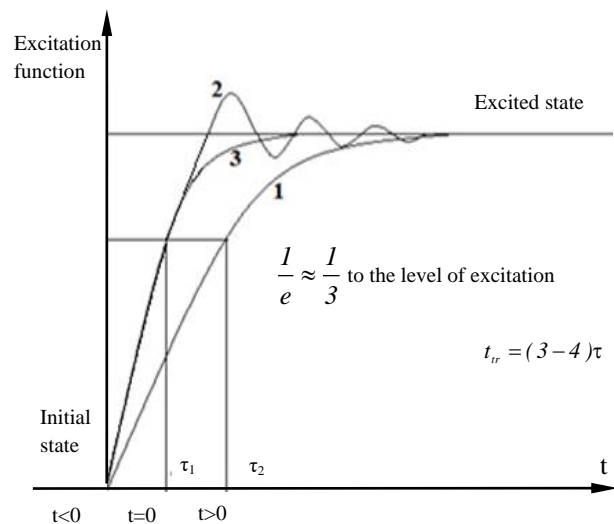


Fig. 1. Transients graphs:
 1 – aperiodic; 2 – vibrational; 3 – critical

In our case, the resistance of the object to the environment, which can be determined by human psychotype [7, 8].

3. The relationship between the human psychotype and the degree of inertia

In psychology, there are the following basic psychotypes of human nature:

– phlegmatic and melancholic characters indicate significant internal resistance to the environment, which is why such people are perceived as “inhibited”;

– people with cholesterol can be considered more efficient and balanced, and therefore they perceive the environment with the optimum resistance for this purpose;

- human - sanguine is characterized by a sharp, “no brakes” of character, which determines the low level of resistance to the environment.

These psychotypes of man, by analogy in technology, allow to match the measure τ of their inertia for behavior in the transition process, and thus to assess the possible time $t_{tr} = (3-4)\tau$ to its completion.

Thus, people of phlegmatic type of character after the corresponding reaction to the excitation function carry out aperiodic (Fig. 1 – 1) transition process.

The oscillating nature of the transition process is marked by people of sanguine composition (Fig. 1 – 3) [8, 9].

Conclusions

1. The psychophysical state of man includes a number of individual characteristics that are decisive and can be specified by mental and physical characteristics.

Unconditional circumstances are the function of arousal and the subsequent transient process, the results of which have objective consequences, because they are due to the action of physical laws and do not depend on subjective desires.

2. Understanding the analogy between the state of processes in wildlife storage and technology is necessary to take into account in everyday activities and, especially, in emergencies and hostilities.

3. Active mental activity should be carried out during the responsible, anxious moments, the time of expectation, etc.: analysis of the situation, search for the best options for completing the task, poems, songs (religions usually recommend prayers). This will eliminate the possibility of losing control of the

environment, eliminate the formation of panic, fear and negative mental phenomena.

In any case, it is essential not to remain in a state of unconsciousness and apprehension, as the induced function will in this case lead to stupor and the impossibility of responding gracefully to the threat and taking a positive decision. The time of the transition process depends on the psychotype of the person and can be shortened by special training, experience and a conscious attitude towards autotraining.

REFERENCES

1. Nikandrov, V.V. (2005), *Psikhofizika i psikhofizicheskiye metody: uchebnoye posobiye* [Psychophysics and psychophysical methods: textbook], Rech', Saint Petersburg, RU.
2. Bardin, K.V. and Indlin, Yu.A. (1993), *Nachala sub'yektivnoy psikhofiziki* [Beginnings of subjective psychophysics], Institut psikhologii Rossiyskoy akademii nauk, Moscow, RU.
3. Skotnikova, I.G., "Subjective Psychophysics: Research Results", *Psikhologicheskyy zhurnal*, no. 2, pp. 121-131.
4. Lazurskiy, A.F. (2018), *Psikhologiya obshchaya i eksperimental'naya* [General and experimental psychology], Jurayt, Moscow, RU.
5. Basharin, S.A. and Fedorov, V.V. (2004), *Teoreticheskiye osnovy elektrotekhniki. Uchebnoye posobiye* [Theoretical foundations of electrical engineering. Tutorial], ACADEMA, Moscow, RU.
6. Kucherenko, A.A. (2018), "Experimental studies of transient processes in the course "Theoretical foundations of electrical engineering" [On-line], *Sbornik nauchnykh trudov DonIZHT*, no. 50.– pp. 4-9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-perehodnyh-protsesov-v-kurse-teoreticheskie-osnovy-elektrotekhniki>.
7. Alexander, Ch.K. and Sadiku, M.N.O. (2012), *Fundamentals of Electric Circuits*, McGraw-Hill, New York, US.
8. Jung, C.G. (2018), *Psikhologicheskyye tipy* [Psychologische Typen], Translated by Loriye, S, Harvest, Minsk, BY.
9. Kennedi, K. KH. and Zilmer, E. A. (2006), "Military Fitness Assessments" in Williams, T.J. (ed.), *Viy's'kova psykhoholohiya: klinichni ta operatyvni zastosuvannya* [Military psychology: clinical and operational applications], Greenwood Press, New York, NY, pp. 35-60.

Received (Надійшла) 27.01.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.04.2022

Технічні аспекти моделювання психофізичного стану військовослужбовця в екстремальних ситуаціях та бойовій обстановці

Д. О. Федотов, О. С. Сергєєв, В. М. Базелюк, В. Д. Тимофєєв, В. І. Москаленко, О. В. Таран

Анотація. Предметом вивчення в статті є психофізичний стан людини в екстремальній обстановці. **Метою дослідження** є надання рекомендацій щодо поведінки людей в умовах миттєвої дії функції збудження та наступного перехідного процесу. **Завдання дослідження:** розглянути психічний та фізичний стани людини, з точки зору основних положень теорії перехідних процесів в електричних колах та визначити аналогію між станом процесів у накопичувачах у живій природі і техніці та зробити висновки про можливість їх конкретизації за психічними та фізичними особливостями; застосувати теоретичні положення теорія перехідних процесів з двома накопичувачами енергії для моделювання психофізичних складових стану людини в екстремальних ситуаціях та бойовій обстановці; на основі досліджень зв'язку психотипу людини з мірою інерційності для поведінки у перехідному процесі та оцінкою можливого часу до його завершення надати рекомендації щодо поведінки людини, зокрема військовослужбовців, у екстремальних ситуаціях та бойовій обстановці. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. **Отримані наступні результати:** Проведена аналогія електромагнітного та психофізичного стану людини з виділенням двосдиних процесів дозволяє застосувати теоретичні положення опису одного виду (електромагнітного) для обґрунтування поведінки інших психофізичних складових. Реалізація результатів даного дослідження дозволяє для широкого загалу з різною теоретичною підготовкою з'ясувати правила поведінки у важких життєвих ситуаціях. **Висновки.** Психофізичний стан людини включає низку індивідуальних особливостей, які є визначальними і можуть бути конкретизовані психічними та фізичними особливостями. Безумовними обставинами виступають функція збудження та наступний перехідний процес, результати дії яких мають об'єктивні наслідки, бо зумовлені дією фізичних законів і не залежать від суб'єктивних бажань. Розуміння аналогії між станом процесів у накопичувачах у живій природі і техніці необхідно для врахування у повсякденній діяльності і, особливо, в умовах надзвичайних ситуацій та бойових дій. У відповідальній, тривожній моменті, під час очікування, тощо, повинна здійснюватися активна розумова діяльність: аналіз ситуації, пошук найкращих варіантів виконання завдання, вірші, пісні (релігій традиційно рекомендують молитви). Це виключить можливість втрати контролю над оточенням, виключить утворення панічного стану, страху та негативні психічні явища. Жодним чином необхідно не залишатись у нерухомому очікуванні та оціпенінні, адже функція збудження призведе, у цьому випадку, до ступору і неможливості миттєво реагувати на небезпеку та прийняття вірного рішення. Час перехідного процесу залежить від психотипу людини та може бути скорочений за рахунок спеціального тренування, набуття досвіду та свідомим ставленням до аутотренінгу.

Ключові слова: психофізичний стан людини, перехідні процеси в електричних колах, психотип людини, екстремальні ситуації, бойова обстановка.

О. О. Ченчева¹, С. М. Геращенко², С. А. Фірсов³, О. І. Губачов¹

¹ Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

² Кременчуцьке районне управління ГУ ДСНС України в Полтавській області, Кременчук, Україна

³ Головне управління ДСНС України в Полтавській області, Полтава, Україна

ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ НАВИЧКАМ НАДАВАННЯ ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ПІД ЧАС БОЙОВИХ ДІЙ

Анотація. **Мета.** Аналіз і виокремлення групи помилок вивчення та викладання основ домедичної допомоги для цивільного населення в умовах бойових дій. **Предмет.** Систематизація психолого-педагогічних та практичних принципів у процесі підготовки цивільного населення до надання першої допомоги під час військового стану. У статті досліджено проблеми дезорієнтації свідків надзвичайної ситуації чи поранення та умови ненадання першої допомоги постраждалому. Визначено такі психологічні фактори, які формують нерішучість та небажання у цивільних осіб надавати першу допомогу постраждалому. Обґрунтовано проблеми формування змісту фахової тактичної підготовки, добору форм і методів роботи зі слухачами з метою ефективного навчання навичкам надання першої домедичної допомоги: використання рольових ігор, ситуаційних завдань, відеофрагментів з пошуком помилок та обговоренням, включення до занять мотиваційного блоку та теми готовності до практичного надання першої допомоги та психологічної підтримки, розвиток вміння конструктивно аналізувати допущені практичні помилки. Аналіз найпоширеніших помилок дозволить підвищити ефективність надання допомоги та якості навчання у цій сфері. Отримані результати можуть бути використані викладачами та тренерами з метою зниження рівня помилок, що допускаються серед слухачів, підвищення якості їх підготовки та ефективності проведених ними заходів порятунку постраждалого.

Ключові слова: перша домедична допомога, поранення, практичні навички, психологічний бар'єр.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Важливим умінням кожної людини в умовах воєнної ситуації в Україні є грамотне надання першої домедичної допомоги та психологічної підтримки постраждалим в умовах бойових дій. Більшість заходів першої допомоги мають виконуватися негайно, оскільки зупинка дихання та серцевої діяльності, а також крововтрата швидко призводять до виражених порушень в організмі та загибелі потерпілого або на місці події, або надалі від пізніх ускладнень. Виконати заходи серцево-легеневої реанімації та зупинку кровотечі можуть очевидці події та працівники рятувальних служб, оскільки ніяка система надання медичної допомоги на догоспітальному етапі не може забезпечити миттєве прибуття машини швидкої медичної допомоги на місце події [1]. Так, за статистикою, від пошкодження великих кровоносних судин (вен і артерій) внаслідок мінно-вибухових впливів, осколкових та вогнепальних поранень при зволіканні з ненаданням першої домедичної допомоги, настання смерті потерпілого може наступити вже через кілька хвилин після отримання такої травми. Вчасно викликана медична допомога та вміння оточуючих у період очікування приїзду лікарів надати першу допомогу значно збільшує шанси потерпілого вижити. У сучасній реаніматології існує термін «золота година» - перші 60 хвилин після отримання травми. Своєчасне, ефективне та правильне надання допомоги саме у цей період дає змогу підвищити шанси на виживання потерпілого. «Між життям і смертю є «золота» година. Якщо ви тяжко поранені, у вас залишилося менше 60 хвилин, щоб вижити. Зрозуміло, ви не обов'язково помрете саме через годину, це може статися через три дні або через два тижні — але у вашому тілі за цей період вже станеться щось непоправне». Р. Адамс Коулі.

Постановка завдання та його вирішення

Метою надання першої допомоги та психологічної підтримки є збереження життя та здоров'я людини, а також нормалізація його психологічного стану. У соціальній психології існує поняття “bystander effect”, або ефект очевидця, який полягає у зворотно-пропорційному зв'язку між кількістю людей, хто бачить необхідність допомогти людині і тими, хто втрутився. Що більше людей бачать, то більше страху та менше очевидців допоможуть. У будь-якій подібній ситуації кожен може бути залежним від втручання очевидця та надання ним мінімальної домедичної допомоги. І якщо із соціальними та комунікативними причинами ефекту очевидця можна боротися навчанням та переконанням, то зі страхом відповідальності можна боротися лише одним способом – виключивши його шляхом здобуття стійких навичок.

Для сприяння ефективному отриманню теоретичних знань та практичних умінь на сьогоднішній день для цивільного населення проводяться різні навчальні курси та тренінги. При цьому актуальною залишається проблема підвищення рівня підготовки молоді прийомам першої допомоги та психологічної підтримки та якісної реалізації цих знань. У рамках підвищення рівня володіння навичками надання першої домедичної та психологічної допомоги серед цивільного населення, на базі Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського було проведено серію тренінгів, у яких взяло участь понад 200 осіб. Знати прийоми і навіть володіти навичками надання першої медичної допомоги – ще не означає вміти ними користуватися в екстремальній ситуації [1]. Необхідно враховувати психологічні фактори при навчанні цивільного населення основам надання першої медичної допомоги в умовах бойових дій, оскільки для кожної людини значним

стресовим станом є ситуація, в якій доводиться бачити на власні очі пораненого, вмираючого, закривавленого потерпілого, а тим більше свого знайомого, родича чи колегу по службі. Людині, яка опинилася в зоні бойових дій чи на місці надзвичайної події, необхідно подолати певні психологічні бар'єри, які не дозволяють їй приступити до надання першої допомоги потерпілим [2]. Одним з таких бар'єрів є страх зашкодити своїми непрофесійними діями. Другий – невпевненість у діях, нерішучість та небажання брати на себе відповідальність за чуже життя. Третій – це страх за своє власне життя: страх підхопити вірусні захворювання при контакті з потерпілим. Подолати ці психологічні бар'єри для невідготовленої людини дуже складно, оскільки екстремальна ситуація під час бойових дій часто застає зненацька, посилюючи психологічні проблеми всіх її учасників. Опитування учасників тренінгів дають змогу стверджувати, що більш як 58% опитаних відчувають психологічний бар'єр у наданні першої допомоги через невпевненість у правильності та ефективності своїх дій. Загальна характеристика причин відмови або зволіканні у наданні першої допомоги на основі анкетування слухачів тренінгів розподіляється наступним чином (рис. 1).



Рис. 1. Причини відмови та зволіканні у наданні першої допомоги

Основна стійкість людей та спільнот до зовнішніх впливів полягає у здатності ефективно реагувати у кризових умовах. Навчання основам домедичної допомоги є невід'ємною частиною формування стійкості до зовнішніх впливів. Спектр освітніх процесів перебуває на перетині областей, які у послідовності поведінкових заходів для збереження життя (рис. 2).

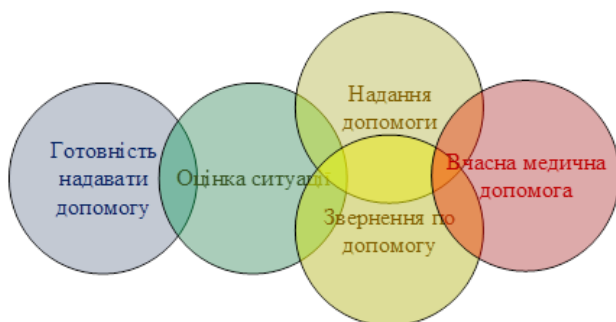


Рис. 2. Послідовність дій для збереження життя

Перша область охоплює профілактику та готовність до екстрених ситуацій. Друга область наголошує на ранньому розпізнаванні небезпек з боку зовнішнього середовища і від хворої або постраждалої людини. Третя область реагування включає дві дії, які можуть відбуватися одночасно, – надання першої допомоги та/або звернення за допомогою, залежно від кількості осіб, які надають допомогу та ресурси.

Освітня діяльність, спрямована на розвиток певних поведінкових навичок для збереження життя, включає кампанії щодо підвищення обізнаності, професійну підготовку та атестацію, а також спеціальні знання та навички на випадок катастроф та критичних ситуацій.

При цьому акцент повинен робитися на самого слухача та його готовність допомогти. Метою такого підходу є дотримання ключових аспектів ефективної освіти з урахуванням місцевих особливостей.

Для закріплення знань та розвитку навичок слід спиратися на три компоненти на всіх рівнях навчання першої допомоги:

- Когнітивний або заснований на розумовій діяльності компонент, який враховує історію навчання суспільства або окремої людини та вибудовується з цього погляду.

- Компонент соціального навчання, який визначає бар'єри та спонукає до відповідних дій у надзвичайних ситуаціях.

- Компонент зовнішнього середовища, який допомагає людям розпізнати та використовувати ресурси надання допомоги (наприклад, закони, АВД, диспетчерську службу швидкої допомоги).

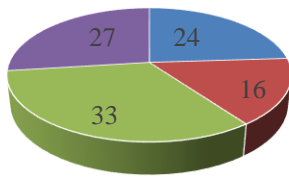
За короткий термін навчання неможливо сформувати медичне мислення, у зв'язку з чим основою навчання мають бути принципи алгоритмізації, стандартизації та відпрацювання практичних навичок до автоматизму. Такий підхід потребує науково-обґрунтованих алгоритмів та стандартів дій, затверджених відповідним міністерством для немедичних працівників.

Більшість відвідувачів тренінгів мають уяву про надання першої допомоги, однак ці знання, як правило, є суто теоретичними і не мають практичної складової. Та головною проблемою є те, що навіть маючи уяву про правила надання домедичної допомоги, у слухачів відсутнє розуміння послідовності та алгоритмів виконання дій, спрямованих на порятунок життя, а також немає жодних практичних навичок використання новітніх засобів тактичної медицини та медицини катастроф (турнікети, оклюзійні пов'язки, сучасні індивідуальні перев'язувальні пакети, гемостатичні препарати та бинти). Такі фактори є причиною виникнення неправильної послідовності дій при наданні першої допомоги, і, як наслідок, ще більшої розгубленості особи, яка надає допомогу.

У ході виконання будь-якої діяльності можуть бути помилки, що критично не впливають на її результат. Але також можуть допускатися помилки, що призводять до неефективного її виконання та відсутності бажаного результату. Помилки, допущені при наданні першої допомоги та психологічної підтримки, пов'язані з життям людини, її психічним та

фізичним здоров'ям, можуть призводити до тяжких необоротних наслідків [3].

Оцінюючи наявних знань і умінь було виявлено кілька суттєвих помилок, здатних значною мірою впливати на своєчасність та ефективність надання допомоги в умовах воєнних дій. Аналіз помилок діяльності при наданні першої домедичної допомоги, їх класифікація дозволяє не тільки визначити причини помилок, але також сприяє підвищенню її ефективності. Проведений кількісний і якісний аналіз дозволяє виділити класифікацію найпоширеніших помилок при наданні психологічної підтримки та першої допомоги під час навчання. Основними помилками базової підготовки є недостатнє знання прийомів психологічної підтримки або алгоритмів першої домедичної допомоги (рис. 3).



- Порушення алгоритму дій
- Неправильність оцінки стану постраждалого
- Розгубленість
- Неправильне виконання заходів першої допомоги

Рис. 3. Розподіл основних помилок базової підготовки правилам надання першої допомоги (на основі спостережень за самостійними діями слухачів при відпрацюванні практичних навичок)

Це пов'язано з нечітким розумінням алгоритмів, незнанням змістовних кроків та сучасної медичної та технічної бази, забуванням принципів, елементів теоретичної частини матеріалу, складністю впоратися з емоційним станом та хвилюванням у ході навчання та подальших реальних дій у реальній бойовій обстановці. Безумовно, для мінімізації помилок такого плану потрібен розвиток вміння чітко та повно запам'ятовувати основні змістовні моменти під час навчання населення відповідно до необхідних методичних матеріалів; розуміти логіку теоретичних знань та практичних умінь; відточувати базові теоретичні знання з першої допомоги та психологічної підтримки, вміння їх використовувати у реальній ситуації [4].

Для цих цілей при навчанні цивільного населення навичкам надання першої домедичної допомоги можуть використовуватися ланцюжки навчання, які включають блок теоретичного плану, далі відпрацювання під контролем інструктора, після вписування прийому або дії у певний контекст або ситуацію та рольова гра з моделюванням реальної ситуації. При цьому кожна необхідна навичка формується за допомогою окремих алгоритмів, здатних потім вишиковуються в цілісну дію. Для цивільного населення особливо цінним є практичне володіння простими прийомами та методами саморегуляції: техніки

дихання, візуалізація, концентрація уваги, швидкості реакції, правильності прийняття рішень, які необхідно відпрацювати у процесі навчання [5].

Навчання прийомам надання першої медичної допомоги має йти паралельно з психологічною підготовкою до алгоритмів надання першої допомоги в умовах бойових дій.

Необхідно відзначити, що психологічна підготовка населення до дій в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях є важливим елементом навчання цивільного населення, яке включає:

загальнотеоретичну підготовку, формування умінь і навичок надання допомоги не тільки в звичайних умовах життя, але і в умовах ризику,

психологічну підготовку до надання домедичної допомоги пораненому (формування сміливості, впевненості, концентрації, готовності до розумного ризику, рішучості, проникливості, далекоглядності, гуманності, оптимістичності і т.д.) [2].

Практичні помилки або помилки виконання: неточне практичне виконання прийому надання психологічної підтримки або першої допомоги пов'язане з нестачею практичних умінь та навичок; вміння грамотно, послідовно, точно демонструвати практичний зразок роботи за умов, максимально наближених до реальних; організувати доступний і відповідний навчальний простір, а також недостатній ступінь внутрішньої готовності.

Для зниження рівня даних помилок необхідно: по-перше, максимальне розширення в ході навчання практичних відпрацювань, використання рольових ігор, ситуаційних завдань, відеофрагментів з пошуком помилок та обговоренням,

по-друге, включення до занять мотиваційного блоку та теми готовності до практичного надання першої допомоги та психологічної підтримки, зниження рівня тривоги у ситуаціях неуспішності, розвиток вміння конструктивно аналізувати допущені практичні помилки та заповнювати необхідну прогалину в уміннях та навичках.

Сценарний підхід у навчанні та симуляційне навчання часто використовуються незалежно один від одного у багатьох навчальних ситуаціях з надання першої допомоги, через свою практичну спрямованість та можливість відстеження результатів навчання. Існує загальне припущення про те, що поміщення слухачів у реалістичний сценарій із пов'язаними з ним імітаційними стимулами (на кшталт крові, диму, пристроїв тощо) під час їх навчального досвіду сприятиме глибшому навчанню та розумінню концепції.

При цьому помилки, які допускаються викладачами при навчанні навичок надання першої домедичної допомоги та психологічної підтримки, вивчені недостатньо.

Викладацькі помилки чи помилки навчання: нечіткість виступу при коментуванні дій, відсутність необхідних пауз, відповідних жестів, міміки; помилки у просторовому розташуванні при демонстрації прийому. Вони можуть бути пов'язані з недостатнім рівнем викладацької підготовки, володіння

технологіями ефективного навчання та навичками публічного виступу. Для мінімізації такого роду помилок потрібен розвиток в інструкторів вміння при навчанні населення використовувати прийоми, що дозволяють:

утримувати та акцентувати увагу аудиторії на ключових моментах навчання,

уміння взаємодіяти з аудиторією, ставити питання, логічно вибудовувати мову, робити паузи для кращого розуміння та додаткового роз'яснення,

відпрацьовувати дані вміння та навички в міні-групах, у рамках моделювання та вирішення ситуаційних завдань, а також шляхом використання кейсового методу.

Рефлексивні помилки або помилки зворотного зв'язку, допущені при навчанні: відсутність структури зворотного зв'язку та неточність його повідомлення, у тому числі при виділенні сильних і слабких сторін при відповіді слухачів.

У цьому напрямі важливе для інструкторів вміння у межах навчання та взаємодії з учнями грамотно і покроково давати зворотний зв'язок під час вирішення практичних завдань, включаючи такі кроки:

висловлювання подяки і похвали,

відкриті опитування щодо самовідчуття учасників навчання після виконання завдання,

оцінювання разом зі слухачами сильних та слабких сторін при відпрацюваннях,

вибудовування перспективи навчання та подальшого застосування отриманих знань на практиці.

Висновки

Навчання основам надання першої домедичної допомоги цивільного населення є важливою задачею в умовах бойових дій, які мають місце на території України. Набуті знання та навички дозволяють вчасно надати першу допомогу пораненому і врятувати життя і здоров'я. Незнання простих алгоритмів і логіки надання першої допомоги, а також невпевненість у власних діях призводять до виникнення психологічних бар'єрів та відмови у спасінні постраждалого.

Таким чином, при навчанні цивільного населення необхідно приділяти особливу увагу психологічній підготовці населення, яка спрямована на усунення розгубленості і безпорадності, мінімізацію виникнення гострих панічних реакцій, психогенних нервово-психічних порушень, підвищення адаптаційних можливостей індивіда в екстремальних ситуаціях.

Аналіз груп помилок при навчанні та викладанні основ надання першої допомоги в умовах бойових дій для цивільного населення дозволяє підвищити ефективність отриманих теоретичних знань та практичних навичок та мінімізувати психологічні бар'єри при наданні домедичної допомоги постраждалому в умовах надзвичайної ситуації.

Подяка авторів. Автори висловлюють подяку адміністрації Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського за можливість проведення дослідження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Іскра Н. І., Кузьмін В. Ю., (2022). Основні аспекти навчання медичних працівників на кафедрі медицини катастроф та військово-медичної підготовки з надання медичної допомоги в умовах сучасних бойових дій на прикладі проведення АТО на сході України. *Здоров'я суспільства* 10(6), 201–204. <https://doi.org/10.22141/2306-2436.10.6.2021.281>
2. Фурманець Б. І., (2007). Психологічна готовність до дій у надзвичайних ситуаціях - Проблеми екстремальної та кризової психології, Нац. ун-т цивільного захисту України. Харків, Вип. 1.
3. Волянський П. Б., (2017) Шляхи розвитку навчання з домедичної допомоги в Україні, «Врачеб. дело». № 5–6, 175–179.
4. Юрченко В. Д., Крилюк В. О., Гудима А. А. (2014). Домедична допомога в умовах бойових дій: Методичний посібник, 80 ISBN 978-617-7029-72-3.
5. Зюзь В. М., Бабич Т. М., Балухтіна В. В., (2020) Навчання студентів основам надання першої медичної допомоги, Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова Випуск 3 (123) 2020, 66-70.

Received (Надійшла) 19.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.05.2022

Peculiarities of training the population of skills of first aid during military action

Olga Chencheva, Serhiy Gerashchenko, Serhiy Firsov, Oleksandr Gubachov

Abstract. Purpose. Analysis, identification of a group of errors in the study and teaching of the basics of first aid for civilians during military action. **Subject.** Systematization of psychological, pedagogical and practical principles in the process of preparing the civilians for first aid during martial actions. The article examines the problems of disorientation of witnesses of emergency or injury and the conditions of failure to provide first aid to the victim. Psychological factors that determine the indecision and unwillingness of civilians to provide first aid to the victim have been identified. Problems of forming the content of professional tactical training, selection of forms and methods of working with students in order to effectively teach first aid skills: the use of role-playing games, situational tasks, video clips with bug search and discussion, inclusion in the motivational block and readiness for practical provision first aid and psychological support, the development of the ability to constructively analyze practical mistakes. Analysis of the most common mistakes will increase the effectiveness of care and the quality of training in this area. The obtained results can be used by teachers and trainers in order to reduce the level of mistakes made among students, improve the quality of their training and the effectiveness of their rescue measures.

Keywords: first aid, injuries, practical skills, psychological barrier.

Зв'язок, телекомунікації та радіотехніка

УДК 621.396

doi: 10.26906/SUNZ.2022.2.124

В. М. Почерняєв¹, М. С. Магомедова², Н. М. Сивкова³

¹ Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Україна

² Київський фаховий коледж зв'язку, Україна

³ Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Україна

ІОНОСФЕРНИЙ ЗВ'ЯЗОК З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ ІОНІЗОВАНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ

Анотація. У статті досліджується застосування штучних іонізованих неоднорідностей у іоносферному зв'язку. Проаналізовано діапазон 1,5 ... 30 МГц, який використовується у військових системах короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку. У роботі пропонується новий спосіб іоносферного зв'язку, у якому існуючі недоліки іоносферного зв'язку значною мірою усунуті. Описано явище штучної іонізованої неоднорідності у середовищі з великомасштабними штучними неоднорідностями діелектричної проникності. У роботі наведено схему утворення зони покриття від штучної іонізованої неоднорідності. Відзначено перспективні шляхи розвитку радіорозвідки, радіоелектронного подавлення, локації та зв'язку, засновані на процесі нелінійної взаємодії потужного електромагнітного випромінювання діапазону УКХ з іоносферою Землі. Нелінійна взаємодія полів в іоносфері виникає за умови, що величина електромагнітного поля, що падає, перевищує рівень природного поля іоносферної плазми, обумовленого тепловим рухом заряджених частинок. Це відбувається при потужності УКХ рівня кількох десятків ... сотень кВт. Виникнення штучної іонізованої неоднорідності під впливом поля потужної радіохвилі відноситься до розряду істотно нелінійних іоносферних ефектів, при яких енергія електромагнітної хвилі внаслідок наявності зіткнень між електронами, іонами та нейтральними молекулами переходить в енергію руху цих частинок. При збільшенні потужності падаючої електромагнітної хвилі відбувається якісний стрибок у структурі штучної іонізованої неоднорідності. Утворюється нестаціонарна неоднорідна структура, що складається з витягнутих уздовж геомагнітного поля неоднорідностей із різними поперечними розмірами. Поперечні розміри великомасштабних неоднорідностей лежать у межах від 50 ... 100 м до 1 ... 10 км. Поздовжні розміри перевищують поперечні у десятки разів. Дрібномасштабні неоднорідності мають поперечні розміри менше довжини падаючої хвилі і становлять 1 ... 30 м. Поздовжні розміри цих неоднорідностей перевищують поперечні в сотні ... тисячі разів. Особливістю дрібномасштабних штучних іонізованих неоднорідностей є їхня здатність інтенсивно розсіювати УКХ. Оскільки висота штучної іонізованої неоднорідності може досягати ~200 км і вище над поверхнею Землі, можна використовувати штучні іонізовані неоднорідності для далекого загоризонтного зв'язку. Сигнали, розсіяні на штучній іонізованій неоднорідності, можуть бути прийняті на поверхні Землі тільки тими приймачами, які розташовані в межах витягнутої магнітношироїтної напрямку області. Довжина та ширина зони на поверхні Землі залежать від геомагнітних, радіофізичних та інших факторів. У статті проведено розрахунок рівня випромінюваної потужності джерела, у якому утворюється штучна іонізована неоднорідність. Визначено випромінювану потужність джерела, за якої починає відігравати роль нелінійний іоносферний ефект.

Ключові слова: іоносфера, штучна іонізована неоднорідність, короткохвильове радіовипромінювання, нелінійний іоносферний ефект, ультракороткі хвилі.

Вступ

Побудова короткохвильових радіо та іоносферних систем зв'язку пов'язано з низкою труднощів, обумовлених характером поширення радіохвиль у цьому діапазоні частот. Однією з основних причин є те, що висока надійність зв'язку на коротких хвилях не може бути гарантована на великій відстані (більше 50 км). Можливість організувати зв'язок великою мірою залежить від кількох факторів, таких як доба, пора року, погодні умови, сонячна активність, потужність випромінювання. Можливість здійснення надійного радіозв'язку особливо актуальна при використанні короткохвильової радіо та іоносферної апаратури зв'язку у військових цілях. Тому, внаслідок зміни умов поширення радіохвиль та рівнів випадкових перешкод існує необхідність адаптації короткохвильових радіо та іоносферних засобів до

цих змін, що є складним науково-технічним завданням. Завдання полягає в тому, як зробити цей зв'язок настільки ж надійним, як космічна, радіорелейна або провідна. Причиною ненадійності зв'язку на коротких хвилях є іоносфера, на якій і ґрунтуються дані типи зв'язку - короткохвильовий радіозв'язок та іоносферний зв'язок. Іоносфера, маючи досить складну будову, під дією сонячного випромінювання та добового обертання Землі постійно змінює свій стан, тим самим постійно змінюючи властивість відбивати і поглинати короткі хвилі. Крім мінливості іоносфери, на надійність зв'язку великий вплив має також і радіоперешкоди різного роду.

Але найскладніше і поки що не до кінця вирішене завдання – це адаптація засобів зв'язку до динаміки іоносфери. Для надійного короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку необхідно, щоб зв'язок завжди працював на так званій оптимальній

частоті. Саме її пошук, визначення та розрахунок становить найбільшу складність. Накопичений величезний експериментальний матеріал з поширення коротких радіохвиль дозволило встановити оптимальну частоту для різних годин доби та пори року. Це стосується короткохвильового радіозв'язку. В іоносферному зв'язку для усунення існуючих недоліків пропонується здійснити нагрівання електромагнітним випромінюванням певної області іоносфери.

Аналіз піддіапазонів коротких радіохвиль. Проаналізуємо діапазон 1,5 ... 30 МГц, що використовуються у військових системах короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку.

Піддіапазон частот 1,5 ... 3 МГц є «нічним». Вдень зв'язок на ньому можливий тільки з найближчими кореспондентами.

Піддіапазон частот 5 ... 8 МГц багато в чому схожий з піддіапазоном 1,5 ... 3 МГц, але на відміну від останнього вдень можлива дальність зв'язку на відстані до 2000 км. Зона мовчання незначна і становить кілька десятків кілометрів. У нічні години можливо практично зв'язок з будь-якої точки земної кулі. Години зміни часу доби (захід/схід) найбільш зручний для далеких сеансів зв'язку. Атмосферні перешкоди менш виражені, ніж у діапазоні 1,5 ... 3 МГц.

У піддіапазоні частот 10 ... 15 МГц у періоди сонячної активності можливі сеанси зв'язку вдень практично з будь-якою точкою земної кулі. Влітку радіозв'язок у цьому діапазоні частот буває цілодобовим, за винятком окремих днів. Зона мовчання вночі має відстань 1500 ... 2000 км, і тому можливі лише далекі сеанси зв'язку. У денний час дальності зв'язку зменшуються до 400 ... 1000 км.

Піддіапазон частот 27 ... 30 МГц придатний для зв'язку у світлий час доби і зазвичай відкривається на кілька годин, днів або тижнів, особливо при зміні сезонів, тобто восени та навесні. Зона мовчання досягає 2000 ... 2500 км. Це зумовлено тим, що при використанні даного піддіапазону кут відбитої хвилі повинен бути малим по відношенню до іоносфери, інакше радіохвилі матимуть велике згасання в іоносфері або проходять крізь іоносферу в космічний простір. Малі кути випромінювання відповідають великим стрибком радіохвилі та, відповідно, великим зонам мовчання. У періоди максимуму сонячної активності можливий зв'язок і вночі.

Тому у роботі пропонується спосіб іоносферного зв'язку з використанням штучних іонізованих неоднорідностей (ШН), при якому недоліки існуючого іоносферного зв'язку значною мірою усуваються.

Метою роботи є розрахунок основних параметрів випромінювача, що утворює ШН в іоносфері, зони покриття та можливості застосування такого іоносферного зв'язку у військовій справі.

Основний текст

Теоретична частина. Зазначимо, що незважаючи на експериментальні дослідження іонізованих неоднорідностей, питання точності розрахунків цього явища для практики залишається відкритим. Як і у разі природної іонізованої неоднорідності у

формуванні відбитого багатопробеневого сигналу від ШН бере участь весь спектр великомасштабних неоднорідностей електронної концентрації модифікованої іоносфери. В умовах застосування складної модуляції потужного короткохвильового радіовипромінювання зміни низькочастотної складової спектру іоносферних неоднорідностей призводять до корінних змін структури багатопробеневого відбитого сигналу.

Явище ШН може бути описано як поширення коротких радіохвиль у середовищі з великомасштабними штучними неоднорідностями діелектричної проникності. Без урахування поляризаційних ефектів відповідне хвильове рівняння має вигляд [1]:

$$\Delta E + k_0^2 [\bar{\epsilon}(\vec{r}, E_b(\vec{r})) + \Delta \epsilon(\vec{r}, E_b(\vec{r}))] E = 0, \quad (1)$$

де $E_b(\vec{r})$ – просторовий розподіл поля хвилі накачування, що визначає зміни у структурі діелектричної проникності іоносфери при нагріванні її потужним короткохвильовим радіовипромінюванням [1].

Як і в умовах природної іонізованої неоднорідності, розподіл електронної концентрації модифікованої іонізованої неоднорідності є випадковим локально стаціонарним за простором і часом процесом, що припускає багатопробенево поширення коротких радіохвиль. Відмінність ШН від природного явища полягає лише у специфіці як середніх, так і флуктуаційних характеристик діелектричної проникності штучно модифікованої іоносфери [2].

Нелінійна взаємодія полів в іоносфері виникає за умови, що величина електромагнітного поля, що падає, перевищує рівень природного поля іоносферної плазми, обумовленого тепловим рухом заряджених частинок. Це відбувається при потужності УКХ рівня кількох десятків ... сотень кВт. Виникнення ШН під впливом поля потужної радіохвилі відноситься до розряду суттєво нелінійних іоносферних ефектів (див. формулу (1)), за яких енергія електромагнітної хвилі внаслідок наявності зіткнень між електронами, іонами та нейтральними молекулами переходить в енергію руху цих частинок.

Підвищення температури частинок, по-перше, електронами, призводить до двох основних процесів, що відбуваються в іоносфері: зміна балансу іонізації-рекомбінації та витіснення електронів із нагрітої області. Перший процес відіграє основну роль у нижній іоносфері в E -шарі ($h \sim 140 \dots 160$ км), другий - верхній іоносфері у F -шарі ($h \sim 200 \dots 220$ км). Зміна балансу іонізації призводить до зростання електронної концентрації. Витіснення електронів призводить, навпаки, до зменшення концентрації. Области з обуреною концентрацією розширюються вгору та вниз, утворюючи ШН. Горизонтальний розмір ШН визначається шириною діаграми спрямованості антени передавача, а вертикальний - потужністю нагріву та фоновими умовами на висоті нагріву.

При збільшенні потужності падаючої електромагнітної хвилі відбувається якісний стрибок у структурі ШН. Утворюється нестационарна неоднорідна структура, що складається з витягнутих уздовж геомагнітного поля неоднорідностей із різними поперечними розмірами. Поперечні розміри

великомасштабних неоднорідностей лежать у межах від 50 ... 100 м до 1 ... 10 км. Поздовжні розміри перевищують поперечні у десятки разів. Дрібномасштабні неоднорідності мають поперечні розміри менше довжини падаючої хвилі і становлять 1 ... 30 м. Поздовжні розміри цих неоднорідностей перевищують поперечні в сотні ... тисячі разів.

Розвиток витягнутих неоднорідностей відбувається під час порядку одиниць ... десятків секунд. Релаксація ШІН після вимкнення падаючої хвилі триває дещо більше. Тому, потужність, необхідна для створення витягнутих неоднорідностей більше потужності, необхідної для підтримки їх існування.

Крім того, штучна турбулізація плазми призводить до виникнення плазових хвиль та штучного радіовипромінювання. Виникає додаткова іонізація іоносфери, що призводить до оптичного світіння та НВЧ випромінювання.

Сигнали УКХ діапазону, що розповсюджуються через турбулентні ШІН, частково розсіюються на

цьому утворенні. Розсіяння має анізотропний характер. Максимум розсіювання знаходиться в ШІН, а вісь спрямована вздовж поздовжньої складової геомагнітного поля. Розсіяний на ШІН сигнал може бути прийнятий тільки в певних районах. Слід зазначити, що вздовж лінії геомагнітного поля дрібномасштабні неоднорідності з поперечними розмірами $L_{\perp} \approx \lambda / 2 \sin \theta$, де λ - довжина хвилі, θ - кут між напрямком випромінювання джерела електромагнітних хвиль та віссю області перевипромінювання, яка формує «пляму» (зону покриття) на поверхні Землі, і поздовжніми розмірами $L_{\parallel} \approx L_{\perp}$ сильно витягнуті (рис. 1). Для сигналів із частотою, що лежить у нижній частині УКХ діапазону, зона на поверхні Землі має ширину ~50 ... 150 км (залежить від розмірів ШІН) та довжиною ~2000 км (залежить в основному від висоти ШІН). Розсіювальна здатність ШІН визначається багатьма умовами - параметрами нагріву, частотою сигналу. Зі збільшенням частоти сигналу ефект зменшується.

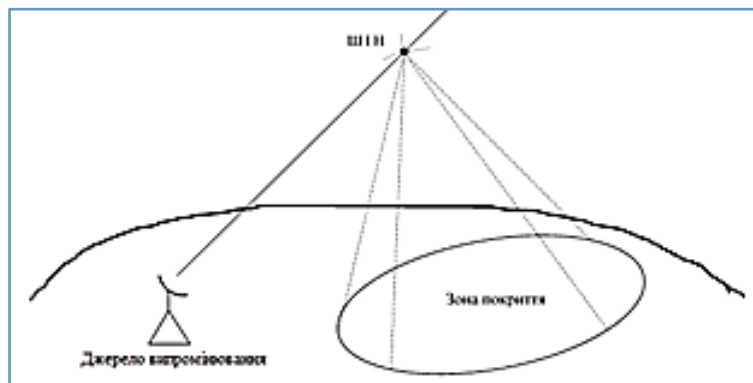


Рис. 1. Схема утворення зони покриття від штучної іоносферної неоднорідності

Особливістю дрібномасштабних ШІН є їх здатність інтенсивно розсіювати УКХ. Оскільки висота ШІН може досягати ~200 км над поверхнею Землі є можливість використовувати ШІН для далекого загоризонтного зв'язку, який має назву в термінах ІТУ - іоносферний зв'язок. Сигнали, розсіяні на ШІН, можуть бути прийняті на поверхні Землі лише тими приймачами, які розташовані в межах витягнутої в магнітно-широтному напрямку області. Довжина та ширина зони покриття на поверхні Землі залежать від геомагнітних, радіофізичних та інших факторів.

Так, при створенні ШІН у F -шарі довжина зони покриття може становити до 3000 км, а ширина ~200 км. Площа, що охоплюється наземною «плямою», становить $\sim 6 \cdot 10^5$ км². Зазначимо, що моніторинг геофізичної обстановки можна здійснювати, використовуючи низькоорбітальні штучні супутники Землі.

Описаний підхід дозволяє здійснювати:

- подальше виявлення малопомітних цілей у повітрі та на морі (загоризонтна радіолокація) на основі штучних плазових відбивачів (засоби наддальньої радіолокації);

- побудова системи іоносферно-тропосферного зв'язку (нова комбінована система зв'язку УКХ) та

загоризонтної радіолокації, заснованих на використанні розсіювальних властивостей ШІН, що виникають при нагріванні іоносфери потужним радіовипромінюванням (комплексами типу HAARP);

- виявлення та ідентифікацію підземних об'єктів спеціального призначення (заглиблені командні пункти, склади з хімічною, бактеріологічною, ядерною зброєю, ракетні шахти), підземні комунікації.

В цілому, формування ШІН при переході обуреної області іоносфери в якісно новий стан на основі довготривалих структур, енергія яких запасється в метастабільних рівнях молекул повітря, дозволяє дестабілізувати функціонування радіоелектронної апаратури. В даний час необхідна подальша розробка, вдосконалення принципів побудови, формування методологічного апарату розрахунку основних тактико-технічних характеристик:

- засобів та комплексів радіоподавлення радіозв'язку та радіолокації, що використовують нагрівання іоносфери потужним короткохвильовим радіовипромінюванням;

- нових засобів у радіорозвідці, радіолокації, зв'язку, радіоелектронній боротьбі та постановці перешкод, заснованих на нових наукових даних про фізичні механізми впливу електромагнітного випромінювання на різні шари атмосфери.

Розрахункова частина. Нелінійна реакція іоносфери проявляється при перевищенні падаючого електромагнітного поля джерела випромінювання власного поля іоносфери, обумовленого тепловою енергією заряджених частинок іоносферної плазми. Проведемо розрахунок рівня випромінюваної потужності джерела, у якому утворюється ШПН. Запишемо діелектричну проникність ε іонізованого газу [3]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{n_e e^2}{m(\omega^2 + \nu^2)} - j \frac{n_e e^2 \nu}{\omega m(\omega^2 + \nu^2)}, \quad (2)$$

де n_e – концентрація електронів; ω – кругова частота джерела випромінювання; ν – частота зіткнень; m – маса електрона; e – заряд електрона.

З формули (2) видно, що якщо становить $\nu \sim E^2$, то величина ε починає залежати від величини напруженості електричного поля, що свідчить про прояву нелінійних ефектів.

Визначимо випромінювану потужність джерела, при якій починають грати роль нелінійні ефекти. Середня щільність потоку потужності p на висоті h записується як:

$$p = \frac{P_0 \cdot \text{КНД}}{4\pi h^2}, \quad (3)$$

де P_0 – потужність випромінювача (передаючого пристрою); КНД – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени.

Відомо, що [3]:

$$P = \frac{1}{2} E \cdot H, \quad (4)$$

де E та H – амплітуди напруженості електричного та магнітного полів. На відстані $h \gg \lambda$ маємо:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi, \text{ Ом}. \quad (5)$$

Тоді, враховуючи (3), (4), (5) маємо:

$$p = \frac{60 P_0 \cdot \text{КНД}}{h^2}. \quad (6)$$

Визначимо з (6) значення $P_0 \cdot \text{КНД}$:

$$P_0 \cdot \text{КНД} = \frac{p \cdot h^2}{60}. \quad (7)$$

В інтервалі частот 3 ... 10 МГц та для висот $h=80 \dots 140$ км отримуємо з (7) наступне наближене значення: $P_0 \cdot \text{КНД} = 10^6 \dots 10^8$ Вт.

Значимо, що вибір частот у діапазоні 3 МГц < f < 10 МГц визначається наступним чином.

1. Критична концентрація електронів $n_e^{\text{кр}} \sim f^2$. Найбільш сильний вплив джерело випромінювання надає області іоносфери, де концентрація електронів близька до критичної, але менше її. Тому нижня межа діапазону частот пов'язана з можливістю впливу на нижні шари іоносфери D -шару, для якого концентрація електронів знаходиться в діапазоні $n_e \approx 10^3 \dots 10^4 \text{ см}^{-3}$, а верхня межа - з впливом на E - і F -шари іоносфери, для яких $n_e \approx 10^5 \dots 10^6 \text{ см}^{-3}$.

2. Величина питомої потужності випромінювання на висоті h визначається за формулою (3).

Щільність потоку потужності, що перевипромінюється ШПН в результаті розрахунку наступна:

$$p \approx \begin{cases} 10^2 \dots 10^3, \text{ Вт/м}^2, h = 80 \text{ км.} \\ 1 \dots 10, \text{ Вт/м}^2, h = 140 \text{ км.} \end{cases}$$

Як показали розрахунки, наявність вільних електронів навіть невисокої концентрації $n_e = 10^3 \dots 10^6 \text{ см}^{-3}$, полегшує можливість створення ШПН при впливі потужного електромагнітного випромінювання. При цьому частота випромінювання грає визначальну роль. Існує граничне значення потужності джерела, починаючи з якої виникає сильне обурення іоносфери. Умовно пороговою можна вважати потужність близько десятків ... сотень кВт.

Таким чином, існує граничне значення потужності джерела випромінювання, починаючи з якої в результаті потужного електромагнітного впливу в іоносфері на висотах 80 ... 220 км, залежно від частоти випромінювання, виникає сильне обурення іоносфери та формується просторові області збудженої іоносфери з різко зміненими фізичними параметрами.

З розрахунків випливає, що виключно серйозні вимоги при практичній реалізації мобільної цифрової іоносферної станції, здатної формувати ШПН, пред'являються до антени, що передає, і до передавального пристрою. Розгляд цих питань виходить за рамки цієї статті.

Висновки

Один із перспективних шляхів розвитку радіорозвідки, радіоелектронного подавлення, локації та зв'язку заснований на процесі нелінійної взаємодії потужного електромагнітного випромінювання діапазону УКХ з іоносферою Землі. Технічною реалізацією цього напрямку є створення мобільної цифрової іоносферної станції, що використовує ефект ШПН. Така станція є станцією подвійного призначення і може використовуватись:

- у військових конфліктах і бойових діях;
 - в умовах надзвичайних ситуацій, як при екологічних і техногенних катастрофах, так і при протидії загрози тероризму;
 - в інтересах трансляції TV програм на територіях, неконтрольованих державою або на території, поза юрисдикцією держави власника такої станції.
- У ході бойових дій така мобільна цифрова іоносферна станція може виконувати такі завдання:
- організація передачі циркулярних повідомлень на великі території, у тому числі за територією, яка не підконтрольна нашим військовим формуванням;
 - встановлення радіозв'язку з N кореспондентами без залучення ресурсів супутникового зв'язку (оренди каналів або стовбурів штучних супутників Землі, які не контролюються державою);
 - постановка перешкод на великих територіях радіовипромінюючим засобам різного призначення та організація системи радіоелектронного подавлення;
 - збирання розвідданих від радіозасобів, розміщених на великих відстанях і які охоплюють великі території;

– передача необхідних даних диверсійно-розвідувальним групам, розподілених на значних за віддаленістю ділянках місцевості.

Моніторинг та виявлення ШПН є дорогим заходом, зумовленим необхідністю застосування потужних передавачів та антен з високими характеристиками спрямованості.

Виявлення здійснюється за ефектом розсіювання радіохвиль на неоднорідностях електронної концентрації або за допомогою супутників радіонавігаційних систем.

Як показує аналіз перспектив розвитку військового зв'язку, наприклад, у роботі [4] зазначено, що реалізація нових технологій у військовій техніці радіозв'язку дозволяє:

– створити високоефективну інтегровану автоматизовану систему зв'язку та управління військами та зброєю;

– здійснити глибоку уніфікацію функцій, що реалізуються засобами цифрового радіозв'язку та високий рівень взаємозамінності типових перепрограмованих модулів.

Створенню нових мобільних радіотехнічних систем НВЧ діапазону присвячена робота [5]. У роботах [4-8] обґрунтовується шлях розвитку засобів зв'язку у напрямі розробок комбінованих станцій за типами зв'язку. Тому, науково-технічним результатом щодо використання ефекту ШПН є створення мобільної цифрової іоносферної станції, у комбінації з іншими типами зв'язку. Це дозволяє організувати мережі радіозв'язку в різноманітних діапазонах частот, систему радіоелектронної боротьби та радіоелектронного подавлення, збирання розвіданих та постановку перешкод, що охоплюють територію в тис.км² без використання бортових ретрансляторів штучних супутників Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967.
2. Алимов В. А., Ерухимов Л. М. // Изв. ВУЗов. Радиофизика, 1995, т. 38, №12. - С. 1227-1235.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука, 2009.
4. Почерняев В.Н. Состояние и направления развития мобильных цифровых радиорелейных систем/ В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Озброєння і військова техніка, 2018. - №1(53). -С.183-188.
5. Почерняев В.Н. Состояние и направления развития мобильных цифровых тропосферных систем связи/ В.Н.Почерняев, В.С. Повхлеб // Озброєння і військова техніка, 2018. - №2(54). -С.51 - 60.
6. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.comsoc.org/publications/magazines/ieee-communications-standards-magazine/cfp/wireless-and-radio-communications>
7. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://milcom2021.milcom.org/technical-program/plenary-panels>
8. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://globecom2021.ieee-globecom.org/program/industry-panels#ipa-05>

Received (Надійшла) 18.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.05.2022

Ionospheric communication using artificial ionized inhomogeneity

V. Pochernyaev, M. Mahomedova, N. Syvkova

Annotation. The article investigates the use of artificial ionized inhomogeneity in ionospheric communication. The range of 1.5 ... 30 MHz used in military systems of shortwave radio and ionospheric communication has been analyzed. The paper proposes a new method of ionospheric communication, in which the existing shortcomings of ionospheric communication are largely eliminated. The phenomenon of artificial ionized inhomogeneity in a medium with large-scale artificial inhomogeneities of the permittivity is described. The paper presents a scheme for the formation of a coverage zone from an artificial ionized inhomogeneity. Promising ways of developing radio reconnaissance, electronic suppression, location and communications based on the process of nonlinear interaction of powerful electromagnetic radiation in the VHF range with the Earth's ionosphere are noted. Nonlinear interaction of fields in the ionosphere arises under the condition that the magnitude of the incident electromagnetic field exceeds the level of the natural field of the ionospheric plasma, due to the thermal motion of charged particles. This happens at VHF power levels of several tens ... hundreds of kW. The emergence of an artificial ionized inhomogeneity under the influence of a powerful radio wave field belongs to the category of essentially nonlinear ionospheric effects, in which the energy of an electromagnetic wave, due to the presence of collisions between electrons, ions, and neutral molecules, is converted into the energy of motion of these particles. With an increase in the power of the incident electromagnetic wave, a qualitative jump occurs in the structure of the artificial ionized inhomogeneity. A non-stationary inhomogeneous structure is formed, consisting of inhomogeneities elongated along the geomagnetic field with different transverse dimensions. The transverse dimensions of large-scale inhomogeneities range from 50 ... 100 m to 1 ... 10 km. Longitudinal dimensions exceed transverse dimensions by tens of times. Small-scale inhomogeneities have transverse dimensions less than the length of the perturbing wave and amount to 1 ... 30 m. The longitudinal dimensions of these inhomogeneities exceed the transverse dimensions by hundreds ... thousands of times. A feature of small-scale artificial ionized inhomogeneity is their ability to intensively scatter VHF. Since the height of an artificial ionized inhomogeneity can reach ~200 km and higher above the Earth's surface, it is possible to use artificial ionized inhomogeneity for long-range over-the-horizon communications. Signals scattered by an artificial ionized inhomogeneity can be received on the Earth's surface only by those receivers that are located within the region extended in the magnetic latitude direction. The length and width of the zone on the Earth's surface depend on geomagnetic, radiophysical and other factors. The article calculates the level of radiated power of the source, at which an artificial ionized inhomogeneity is formed. The radiated power of the source is determined, at which the nonlinear ionospheric effect begins to play a role.

Keywords: ionosphere, artificial ionized inhomogeneity, shortwave radio emission, nonlinear ionospheric effect, VHF.

О. А. Серков, В. С. Бреславець, Ю. В. Бреславець, І. В. Яковенко

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

МЕХАНІЗМИ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ АПАРАТУРИ ЗВ'ЯЗКУ

Анотація. Предметом є процеси аналізу і механізми виникнення оборотних і необоротних відмов напівпровідникових комплектуючих апаратури зв'язку, зумовлених впливом струмів і напруг, наведених зовнішнім електромагнітним випромінюванням, на працездатність електрорадіовиробів. **Метою** є модель виникнення оборотних відмов напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів, які обумовлені взаємодією наведених токів з електростатичними коливаннями напівпровідникової свєрхрешітки. **Методами, що використовуються** є визначення спектру власних коливань системи: наведені електромагнітним випромінюванням струми - власні коливання комплектуючих радіовиробу, визначені методом теорії малих обурень. **Отримані наступні результати:** Отримано розрахункові співвідношення, що пов'язують величину інкременту нестійкостей (критерій оборотних відмов) з величиною наведених струмів та параметрами шаруватих структур: концентрацією вільних носіїв, діелектричною проникністю, розмірами структури. Визначено параметри стороннього імпульсного електромагнітного поля, наведених струмів та робочих характеристик напівпровідникових приладів, в рамках яких спостерігається режим посилення власних коливань напівпровідникової структури. Визначено механізми появи оборотних відмов виробів напівпровідникових комплектуючих радіовиробів за умов впливу сторонніх імпульсних електромагнітних полів. Встановлено, що наявність наведеного зовнішнім випромінюванням струму призводить до встановлення режиму посилення власних коливань напівпровідникових комплектуючих радіовиробу (зворотним відмова). **Висновок.** Порівняльний аналіз, отриманих у роботі розрахункових даних може бути використаний при виготовленні радіовиробів, що працюють у міліметровому та субміліметровому діапазоні (підсилювачів, генераторів та перетворювачів частоти). Оцінки режимів посилення (генерації) коливань напівпровідникових приладів, що спотворюють їх робочі характеристики залежно від параметрів зовнішнього електромагнітного впливу, дозволяє визначати можливості електромагнітної сумісності апаратури зв'язку НВЧ-діапазону.

Ключові слова: апаратура зв'язку, наведений струм, електромагнітне випромінювання, напівпровідникові комплектуючі, поверхневі коливання, нестійкість коливань.

Вступ

Розширення областей застосування та зростання складності завдань, виконання яких покладається на засоби зв'язку призводять до підвищення їхньої чутливості, а отже, до збільшення залежності працездатності комплектуючої апаратури від впливу зовнішніх факторів (зокрема електромагнітного випромінювання).

Як відомо [1], найбільш чутливі до впливу зовнішніх електромагнітних полів напівпровідникові прилади (ПНП) та інтегральні мікросхеми (ІМС). Відмови цих виробів зазвичай пов'язані з електричними (величина та розподіл струмів у структурі приладів) та тепловими (підвищення температури окремих ділянок структури) [2]. Тому, значний вплив на працездатність такого роду електрорадіовиробів, надають напруги наведені зовнішнім випромінюванням.

В основному дослідження впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ) на електрорадіовироби відносяться до галузі незворотних відмов. (Всі типи відмов, прийнято розділяти на оборотні та незворотні [1, 2]). Для незворотних відмов характерна повна втрата працездатності. Вони настають, коли зміна робочих характеристик апаратури перевищує допустимі межі (при дії зовнішнього електромагнітного випромінювання незворотні відмови, зазвичай виникають внаслідок теплового пробою комплектуючих).

Моделювання незворотних відмов, що виникають як результат взаємодії струмів та напруг, наведених ЕМІ, з процесами, що характеризують функціональне призначення радіовиробів, проводиться в рамках теорії ланцюгів із розподіленими параметрами. Це дозволяє оцінити критерії працездатності в цілому (наприклад, оцінити критичну енергію, що характеризує тепловий пробій),

У той же час, для оборотних відмов, що характеризуються тимчасовою втратою працездатності, використання теорії ланцюгів не дозволяє визначати спотворення вихідних параметрів радіовиробів. Тому більшість питань, пов'язаних з впливом ЕМІ на працездатність виробу в області оборотних відмов залишаються відкритими. Ця робота певною мірою компенсує існуючу прогалину в дослідженнях як оборотних, так і незворотних відмов.

Результати досліджень

У статті досліджено механізми взаємодії наведених зовнішнім випромінюванням струмів з процесами, що визначають функціональне призначення радіовиробів.

Крім того, отримані розрахункові співвідношення, що визначають ступінь впливу зовнішніх імпульсних полів на працездатність напівпровідникових приладів.

Слід зазначити, що вплив на найпростіші типові схеми радіо- та електротехнічного обладнання технічних засобів (ТЗ), що містять напівпровідни-

ві прилади та мікросхеми, електричних полів з напруженістю близько 20 кВ/м та магнітних - 100 А/м, вже супроводжується короткочасними (оборотними) порушеннями їх працездатності [3].

Аналіз відмов виходу з експлуатації ТЗ показав [2], що вплив електромагнітних полів з рівнями електричного поля до 100 кВ/м і магнітного поля до 600 А/м, не призводить до структурних пошкоджень матеріалів виробів електронної техніки і не викликає деградації їх параметрів.

Тому наведені рівні величин електромагнітних полів визначають області як оборотних, так і незворотних відмов.

1. Незворотні відмови. Основною характеристикою, що визначає межу працездатності НПВ (область необоротних відмов) при впливі наведених імпульсних струмів і напруг, спричинених ЕМІ є імпульсна електрична міцність [8]. НПВ даний параметр визначається як найбільше значення зворотної напруги та відповідного йому зворотного струму, що передреє перекриття р-п переходу.

Як правило, величина електричної міцності визначає ту кількісну межу експлуатаційних характеристик НПВ, після якого спостерігається вихід з ладу приладу.

При цьому вторинний тепловий пробій, який спостерігається у всіх типах напівпровідникових приладів [7], виступає основною причиною відмови напівпровідникових приладів..

Вторинний тепловий пробій р-п переходів НПВ при прямому зміщенні це результат теплової нестабільності в локалізованих областях напівпровідникової структури. При зворотному зміщенні р-п переходів виникнення вторинного пробою є результатом появи лавинного струму при високих напругах і його пов'язують з локальним перегрівом в області р-п переходу.

Зворотно-зміщені р-п переходи приладів є найбільш критичними до впливу імпульсних струмів і напруг. Це пов'язано з невеликими розмірами активних областей і великий теплової постійної часу для матеріалів [7, 8].

Оскільки велика кількість енергії розсіюється на околицях активних областей р-п переходів і постійна теплова часу велика в порівнянні з тривалістю імпульсу ЕМІ, тепло під дією ЕМІ виділяється на малій площі, а температура в цій області стає досить високою аж до температури плавлення матеріалів.

Це призводить до між переходом і суміжними областями великого температурного градієнта, тобто пошкоджень, викликаних плавленням матеріалів, та теплового пробою.

Стійкість напівпровідникових приладів до дії імпульсних полів можна характеризувати також граничною енергією, виділеною в приладі [8].

Енергія, при виділенні якої в приладі за час дії імпульсу перенапруги хоча б один з параметрів приладу виходить за норми, називається пороговою енергією ушкодження.

Для імпульсної напруги з тривалістю імпульсу $\tau_n \leq 0,1$ мкс ця енергія стала і її називають критичною енергією пошкодження [8].

Більшість методик оцінок критеріїв працездатності напівпровідникових приладів, що використовуються на даний час, в умовах впливу стороннього електромагнітного випромінювання [4, 7] визначає критичну енергію $W_{кр}$, що викликає відмову виробу наступним чином:

$$W_{кр} = U_L I_L \Delta t_{\min}, \quad (1)$$

де $U_L I_L$ - відповідно напруга та струм лавинного пробою, Δt_{\min} - мінімальний час розсіювання наведеної електромагнітним випромінюванням потужності (розвитку пробою).

Критична енергія імпульсу, що викликає відмову напівпровідникового приладу не залежить від тимчасових параметрів імпульсу, що впливає перенапруги, а визначається фізико-конструктивними параметрами р-п переходів і питомими опорними високочастотних областей [8].

Існує ряд методик наближених оцінок рівнів потужності пошкодження виробу. До них відноситься робота [4], де для діодів і транзисторів була отримана залежність питомої пробійної потужності струму, що проходить через р-п-перехід, від тривалості імпульсу

$$P_{кр}/S = f(\tau),$$

де $P_{кр}$ - потужність струму, що проходить через поперечний переріз (S) р-п-перехода, при якому відбувається катастрофічна відмова діода (транзистора); τ - тривалість прямокутного імпульсу).

Відповідна залежність називається залежності (кривий) Вунша - Белла і представлена на рис. 1.

На рис. 1 у логарифмічному масштабі наведено теоретичні та експериментальні залежності питомої пробійної потужності від тривалості прикладеного прямокутного імпульсу [5].

Для опису експериментальних даних авторами було отримано розрахункову формулу залежності питомої порогової потужності (P/S , кВт/см²) відмов р-п-переходів від тривалості імпульсу (t, мкс):

$$P/S = K_d \cdot t^{-1/2}, \quad (2)$$

де K_d - коефіцієнт деградації, отриманий на підставі експериментальних даних [5].

У роботі [7] наводяться експериментальні та теоретичні (розраховані на підставі напівемпіричних формул) результати досліджень стійкості діодів при подачі на них напруг, відмінних формою від прямокутних імпульсів.

Наведені експериментальні дані загалом задовольняли критерію Вунша-Белла.

2. Зворотні відмови Об'єктом дослідження запропонованої фізичної моделі оборотних відмов є шарувата напівпровідникова періодична структура.

Структури такого роду використовуються як перетворювачі частоти в апаратурі зв'язку [3].

Зовнішнє електромагнітне поле формує струм (потік заряджених частинок), причому напруженість електричного поля спрямована за нормаллю до верхні структури.

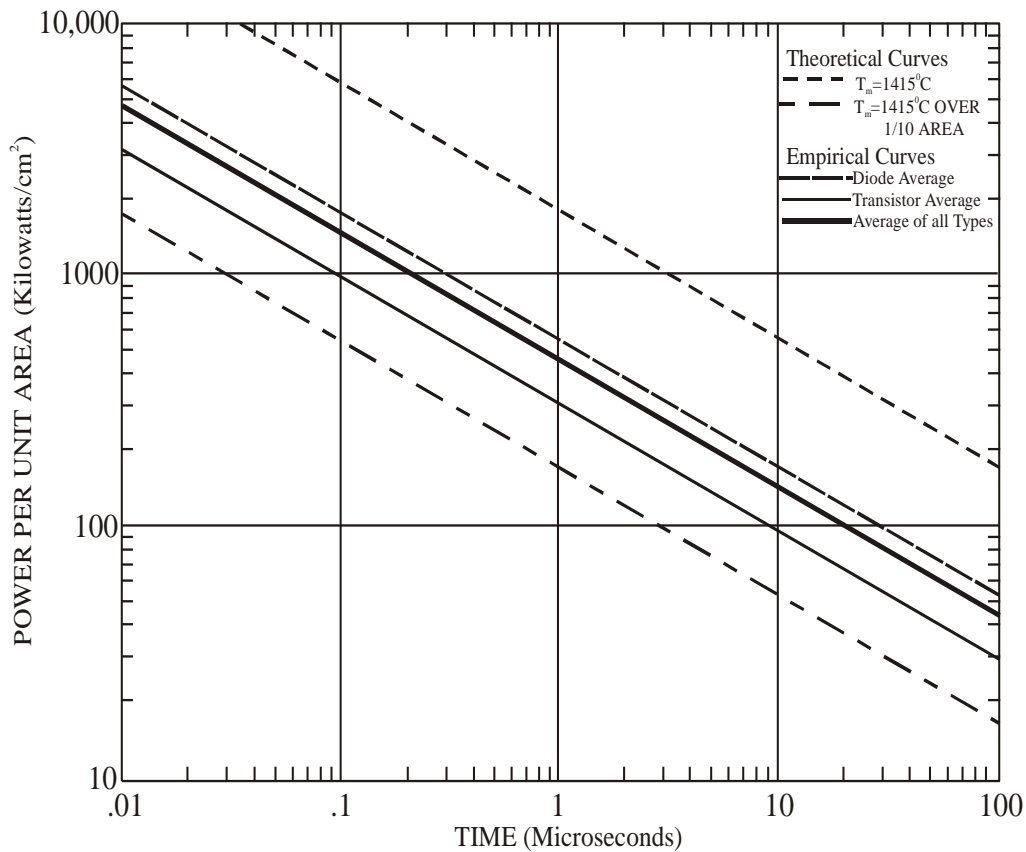


Рис. 1. Залежність граничної потужності від тривалості електромагнітного імпульсу (залежність Вунша-Белла) [3]

Розглянемо взаємодію потоків заряджених частинок, наведених електромагнітним полем, з хвильовими процесами в шаруватих напівпровідникових структурах, що використовуються в сучасній НВЧ – електроніці.

Визначимо спектр та згасання (наростання) електромагнітних коливань такої системи.

Вибираємо систему відліку таким чином, щоб осі X, Y були спрямовані паралельно, а вісь Z – перпендикулярно межі розділу.

Зауважимо, що втрати енергії зарядженої частки під час проходження через шаруватий діелектрик вперше розглядалися у роботі [3].

Нехай моноенергетичний нейтральний потік заряджених частинок із щільністю n_0 проходить із постійною швидкістю v_0 через періодичну структуру (період q), що складається з плазмових шарів, що чергуються d_1, d_2 та розрізняються діелектричними постійними концентраціями електронів провідності N_{01}, N_{02} .

Для опису електромагнітних властивостей структури, що складається з плазмових шарів, у нехтуванні ефектами запізнення, скористаємося системою рівнянь Максвелла та гідродинаміки. На межі шарів виконуються умови безперервності потенціалів та повних струмів.

Представляючи залежність всіх змінних величин від координат та часу експоненційною, отримаємо розв'язання рівнянь у кожному шарі.

За допомогою граничних умов виключимо невизначені константи та отримаємо дисперсійне рівняння, що зв'язує між собою частоту, хвильові вектори - $\omega, q_{x,y}, k$ та параметри середовища.

$$\cos(\omega/v_0 - k)d = \cos \lambda_1 d_1 \cos \lambda_2 d_2 - \frac{\lambda_1^2 + \lambda_2^2}{2\lambda_1 \lambda_2} \sin \lambda_1 d_1 \sin \lambda_2 d_2. \quad (3)$$

Це рівняння вперше було отримано в роботі [4], де було показано можливість виникнення нестійких станів. При цьому не бралися до уваги пов'язані з частотною дисперсією діелектричної проникності власні коливання, що існують у структурі без пучка.

У разі малої щільності пучка

$$\lambda_1 d_1 \ll 1; \quad \lambda_2 d_2 \ll 1$$

рівняння (3) перетворюється на вид:

$$\cos(\omega/v_0 - k)d = 1 - \omega_0^2 d^2 / (2v_0^2 \epsilon_{zz}), \quad (4)$$

де

$$\epsilon_{zz}(\omega) = d\epsilon_1\epsilon_2 / (d_1\epsilon_2 + d_2\epsilon_1) -$$

компонента тензора діелектричної проникності дрібнодисперсного середовища, а

$$\omega_p = \sqrt{4\pi e^2 n_0 / m} -$$

плазмова частота електронів пучка.

У разі слабкої просторової дисперсії:

$$\omega d/v_0 \ll 1; \quad kd \ll 1$$

отримаємо:

$$(\omega/v_0 - k)^2 = \omega_0^2 / (v_0^2 \varepsilon_{zz}). \quad (5)$$

Закон дисперсії коливань має той самий вид, що і в однорідному середовищі, діелектрична проникність якого дорівнює $\varepsilon_{zz}(\omega, d_1, d_2)$. У наближенні малої щільності пучка вважаючи отримаємо:

$$\Delta\omega^2 = \omega_0^2 / \varepsilon_{zz}(\omega - kv_0); \quad \Delta\omega \ll kv_0. \quad (6)$$

У цьому випадку виникають коливання з частотою, що визначається часом прольоту τ частинкою просторового періоду структури $\tau = d/v_0$. Ціле число l дорівнює відношенню часу прольоту до періоду коливань

Інкремент нестійкості γ дорівнює

$$\gamma = \text{Im} \Delta\omega = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt[3]{\omega_0^2 \omega_{p1} d_1 / (2\varepsilon_{01} d)}, \quad (7)$$

де

$$\omega_{p1} = \frac{\omega_{01}}{\sqrt{\varepsilon_{01}}}.$$

Якщо $\omega = kv_0$, то ми маємо нестійкість в умовах черенківського резонансу з інкрементом, який у $\sqrt[3]{d_1/d_2}$ разів менше ніж у однорідній плазмі. У разі $\omega_p = \frac{2\pi v_0}{d} l$ нестійкість пов'язана з черенківським параметричним випромінюванням зарядженої частки.

Таким чином знаючи величину інкременту нестійкості ми можемо оцінювати таку характеристику оборотних відмов як величину енергії випромінювання власних коливань шаруватої структури в залежності від параметрів наведеного зовнішнім ЕМІ струму (концентрації носіїв, їх дрейфової швидкості та розмірів структури).

3. Розв'язання задачі. Потужність випромінювання $\Delta P_{\text{випр}}$ власних коливань напівпровідникової прилади за умов впливу зовнішнього поля (наявності наведеного струму) можна визначити як втрати енергії поступального руху потоку частинок (кінетичної енергії) за час проходження потоком частинок області локалізації поля хвилі

$$\Delta P_{\text{випр}} = \Delta W_{\text{кін}} / \Delta t_{\text{вз}}, \quad (8)$$

де

$$\Delta W_{\text{кін}} = \left(mv^2/2 \right) \cdot n_{ob} V;$$

$mv^2/2$ - кінетична енергія частки пучка, наведеного зовнішнім імпульсом; n_{ob}, V - відповідно концентрація та дрейфова швидкість електронів пучка, V - об'єм, який займає наведений струм (об'єм напівпровідникової структури).

У режимі пучкової нестійкості дрейфова швидкість

$$v \approx v_0 \exp(+\gamma t),$$

тобто час ефективної взаємодії хвиль та частинок $\Delta t_{\text{вз}}^{(5)} = 1/\gamma$, тому

$$\Delta P_{\text{ізл}} \approx mv_0 \gamma (n_{ob} V). \quad (9)$$

Таким чином, енергія випромінювання $\Delta W_{\text{ізл}}$ за час дії імпульсу напруги $\Delta t_{\text{імн}}$ визначається виразом

$$\Delta W_{\text{ізл}} = P_{\text{ізл}} \Delta t_{\text{імн}} \approx 2\gamma P_{\text{ізл}} \Delta t_{\text{імн}}. \quad (10)$$

Скориставшись співвідношенням (10) наведемо кількісні оцінки для втрат енергії наведених струмів на порушення власних коливань для шаруватих структур.

Параметри імпульсного електромагнітного випромінювання: амплітуда напруженості імпульсного електричного поля $E_0 = 15 \text{ кВ/м}$, тривалість імпульсу $\Delta t_{\text{імн}} \approx 500 \text{ нс}$. Величина енергії випромінювання власних коливань твердотільних шаруватих структур - $\Delta W_{\text{ізл}}$ при цьому складає $\approx (10^{-7} - 10^{-8}) \text{ Дж}$, тобто при чутливості сучасних приймачів НВЧ випромінювання [7] (10^{-10} Дж) цілком виявлена і є причиною оборотних відмов.

Висновки

Приведені гранично допустимі експлуатаційні параметри вітчизняних напівпровідникових приладів, що визначають їх електромагнітну стійкість і певні механізми виникнення незворотних відмов напівпровідникових комплектуючих апаратів зв'язку, обумовленого впливу токів і напруг, наведених зовнішнім випромінюванням, на працездатність апаратури зв'язку.

Запропоновано модель виникнення оборотних відмов напівпровідникових приладів, обумовлених взаємодією наведених зовнішнім ЕМІ струмів з електростатичними коливаннями напівпровідникової шаруватої структури. Модель базується на реалізації резонансної (черенківської) взаємодії рухомих зарядів і електромагнітних коливань в умовах, коли збігаються фазова швидкість хвилі і швидкість зарядженої частинки.

Отримано розрахункові співвідношення для визначення енергії випромінювання (критеріїв оборотних відмов), що пов'язують величину інкременту нестійкостей з величиною наведених струмів та параметрами шаруватих структур: концентрацією вільних носіїв, діелектричною проникністю, розмірами структури.

Наведені кількісні оцінки інкременту нестійкостей показують, що величина енергії випромінювання лежить у межах чутливості сучасних приймачів випромінювання субміліметрового діапазону цілком виявлена і є причиною оборотних відмов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький Н.Н., Світличний В.М., Халамейда Д.Д., Яковенко В.М. Електромагнітні явища НВЧ – діапазону в неоднорідних напівпровідникових структурах. – Київ.: Наукова думка. – 1991. – 216 с.
2. Зі С. Фізика напівпровідникових приладів. – М.: Мир. – 1984. – 456 с.
3. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Електромагнітні впливи на споруди зв'язку. – М.: Радіо та зв'язок. – 1979. – 225 с.
4. Стил М., Вюраль Б. Взаємодія хвиль у плазмі твердого тіла. – М.; Атоміздат – 1973. – 312 с.
5. Мирова Л.О., Чепиженко А.З. Забезпечення стійкості апаратури зв'язку до іонізуючих електромагнітних випромінювань. – М.: Радіо та зв'язок, 1988, 235 с.
6. Кравченко В.І., Яковенко В.М., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Вплив стороннього електромагнітного випромінювання на хвильоводні характеристики напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів // Вісник НТУ"ХПИ" – 2009. - № 11. – С.62 – 69.
7. Кравченко В.І., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Порушення електромагнітних коливань у 2-D електронних структурах струмами, наведеними зовнішнім випромінюванням // Вісник НТУ"ХПИ" – 2012. - № 21. – С.154 – 161.
8. Кравченко В.І., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Генерація електромагнітних коливань напівпровідникової структури в умовах стороннього електромагнітного впливу // Вісник НТУ"ХПИ" – 2012. - № 21. – С.161–169.
9. Кравченко В.І., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Вплив потоку заряджених частинок, наведеного зовнішнім електромагнітним випромінюванням на хвильоводні характеристики напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів // Вісник НТУ"ХПИ" – 2013. - № 27. – С.83–89.
10. Кравченко В.І., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Згасання поверхневих коливань напівпровідникових структур електрорадіовиробів в умовах впливу стороннього електромагнітного випромінювання // Вісник НТУ"ХПИ" – 2013. - № 27. – С.96–103.
11. Кравченко В.І., Яковенко І.В., Лосев Ф.В. Кінетичні механізми взаємодії поверхневих коливань з електронами провідності напівпровідникових структур за умов впливу стороннього електромагнітного випромінювання // Вісник НТУ"ХПИ" – 2013. - № 27. – С.103–111.

Received (Надійшла) 12.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.05.2022

**Mechanisms of influence of external electromagnetic radiation
on the performance of communication equipment**

Aleksandr Serkov, Vitalii Breslavets, Juliya Breslavets, Igor Yakovenko

Abstract. The **subject** matter is the processes of analysis and mechanisms for the occurrence of reversible and irreversible failures of semiconductor components of communication equipment, due to the influence of currents and voltages induced by external electromagnetic radiation on the performance of electrical and radio products. The **aim** is a model for the occurrence of reversible failures of semiconductor components of electrical and radio products, due to the interaction of induced currents with electrostatic oscillations of a semiconductor superlattice. **The methods used are:** determination of the spectrum of natural oscillations of the system: currents induced by electromagnetic radiation - natural oscillations of the components of the radio product by the method of the theory of small perturbations. **The following results are obtained:** Calculation relations are obtained that relate the magnitude of the instabilities increment (reversible failure criterion) with the magnitude of the induced currents and the parameters of layered structures: the concentration of free carriers, the permittivity, and the dimensions of the structure. The parameters of a third-party pulsed electromagnetic field, induced currents and operating characteristics of semiconductor devices are determined within which the regime of amplification of natural oscillations of a semiconductor structure is observed. The mechanisms of occurrence of reversible failures of products of semiconductor components of radio products under the influence of third-party pulsed electromagnetic fields are determined. It has been established that the presence of a current induced by external radiation leads to the establishment of a mode of amplification of natural oscillations of semiconductor components of a radio product (reversible failures). **Conclusion.** A comparative analysis of the calculated data obtained in the work can be used in the manufacture of radio devices operating in the millimeter and submillimeter range (amplifiers, generators and frequency converters). Estimates of amplification (generation) modes of oscillations of semiconductor devices, distorting their performance depending on the parameters of external electromagnetic influence, makes it possible to determine the possibilities of electromagnetic compatibility of microwave communication equipment.

Keywords: communication equipment. induced current, electromagnetic radiation, semiconductor components, surface vibrations, oscillation instability.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Арламов О. Ю.	111	Корсунська Я. Є.	51	Сергєєв О. С.	115
Базелюк В. М.	115	Крамчанинов А. Ю.	15	Серков О. А.	129
Баканов К. Л.	15	Кучук Г. А.	75	Сивкова Н. М.	124
Бараненко Р.	24	Кучук Н. Г.	55	Сухомлин Л. В.	27
Бреславець В. С.	129	Лапін П. В.	102	Таран О. В.	115
Бреславець Ю. В.	129	Левченко О. В.	4	Тимофєєв В. Д.	115
Бурдейна Н. Б.	99	Левченко О. Г.	111	Тихенко О. М.	111
Васильєв І. О.	41	Лисиця Д. О.	19	Тищенко Д.	24
Вигівський Р. А.	91	Магомедова М. С.	124	Ткачов В. М.	19
Геращенко С. М.	120	Макаренко О. І.	59	Толкунова Ю. М.	32
Герцюк М. М.	95	Мацюк В. І.	102	Фахс М.	85
Глива В. А.	99, 111	Мелешко Є. В.	79	Федотов Д. О.	115
Губачов О. І.	120	Мельник О. В.	4	Філатова Г. Є.	85
Євсеєнко О. М.	9	Міхаль О. П.	55	Фірсов С. А.	120
Євсіна Н. О.	9	Москаленко В. І.	115	Франчук Т.	24
Заверуха Г. В.	15	Науменко М. В.	55	Харченко В. С.	41
Зозуля С. В.	99	Петров К. Е.	68	Худавердієва М.	37
Золотарьов В. А.	15	Петровська І. Ю.	75	Чалапко В. В.	15
Зуєв А. О.	9	Піскун С. В.	15	Ченчева О. О.	120
Ільїна І. В.	51	Почерняєв В. М.	124	Шиман А. П.	55
Іщенко І. А.	46	Прокопов В. В.	79	Шимко С. В.	79
Калінін Є. І.	19	Раскін Л. Г.	27	Якименко М. С.	79
Капітон А.	24	Резніченко В. А.	79	Яковенко І. В.	129
Кацман М. Д.	102	Рибальченко А. О.	19	Янко А. С.	59, 91
Кобзєв І. В.	68	Руденко О. А.	46		
Корсун Р. О.	27	Сагайдачний Д. О.	27		

Наукове видання

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 2 (68)

Відповідальна за випуск *К. С. Нестеренко*

Технічний редактор *Т. В. Уварова*

Коректор *О. В. Морозова*

Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*

Оформлення обкладинки *І. В. Ільїна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 14.06.2022. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 16,75. Тираж 120 прим. Зам. 614-22

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 № 24800000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: bookfabrik@mail.ua